



**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП  
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

**м-р Мевлудин Шабани, дип. маш. инж.**

**МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА  
РАПАВОСТ ПРИ ОБРАБОТКА СО СТРУЖЕЊЕ НА МЕТАЛИ СО  
ЗГОЛЕМЕНА ТВРДИНА**

**- Докторска дисертација -**

**ШТИП, 2021 г.**



**Интерен ментор:** **д-р Симеон Симеонов,**  
редовен професор на Машинскиот факултет,  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип;

**Екстерен ментор:** **д-р Мите Томов,**  
вонреден професор на Машинскиот факултет,  
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје

#### **ЧЛЕНОВИ НА КОМИСИЈАТА ЗА ОЦЕНА И ОДБРАНА**

**Претседател:** **д-р Елениор Николов,**  
редовен професор на Воената академија  
„Генерал Михаило Апостолски“ – Скопје,  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип;

**Член:** **д-р Симеон Симеонов,**  
редовен професор на Машинскиот факултет,  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип;

**Член:** **д-р Мите Томов,**  
вонреден професор на Машинскиот факултет,  
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје;

**Член:** **д-р Невен Трајчевски,**  
вонреден професор на Воената академија  
„Генерал Михаило Апостолски“ – Скопје,  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип;

**Член:** **д-р Ристо Кукутанов,**  
редовен професор на Машинскиот факултет,  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Научно поле:** 214 Машинство

**Научна област:** 21403 Производно машинство, технологии и системи  
21404 Технологија на обработка на метали и алатни  
машини

**Датум на одбрана:**  
**Датум на промоција:**

## **БАГОДАРНОСТ**

Би сакал да изразам благодарност кон менторот проф. Симеон Симеонов кој со корисни совети и сугестии во текот на работата на докторската дисертација придонесе овој докторски труд да биде успешно завршен.

Исто така сакам да упатам благодарност до проф. Миколај Кузиовски (in memoriam) за овозможените услови за реализација на експерименталните истражувања со користење на специјализирана опрема која што се наоѓа на Машинскиот факултет во Скопје.

Благодарност до останатите членови на комисијата: проф. Елениор Николов, проф. Мите Томов, проф. Невен Трајчевски и проф. Ристо Кукутанов за укажаните корисни совети при изработката и пишувањето на докторската дисертација.

Искрена благодарност на мојата фамилија, сопруга Вадете, децата Урата, Лорета и Лорику, за поддршката во текот на дисертацијата, во оваа прилика сакам да им се заблагодарам и на внуката Ева и внукот Лека кои беа духовна релаксација по напорната секојдневна работа.

Авторот

# МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА РАПАВОСТ ПРИ ОБРАБОТКА СО СТРУЖЕЊЕ НА МЕТАЛИ СО ЗГОЛЕМЕНА ТВРДИНА

## Краток извадок:

Стружењето на челици со зголемена тврдина се применува во многу случаи во производството. Во моментот, најважниот проблем се однесува на својствата - квалитетот на завршно обработената површина. Оваа докторска дисертација го истражува ефектот врз обработената површина во зависност од параметрите на стружење (брзина на режење, помест, длабочина на режење, радиус на врот на алатот), од материјал челик за подобрување C 55 (DIN). Прстените се термички обработени на бараната тврдост  $52 \pm 2$  HRC. Димензиите на прстените се  $\Phi 102 \times \Phi 82 \times 20$  mm,. Материјалот на резните плочки е од мешана керамика MC 2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ).

Клучни зборови: параметри на стружење, површинска рапавост, стружење на челик со зголемена тврдина.

## **MATHEMATICAL MODELING OF THE SURFACE ROUGHNESS PARAMETERS DURING HARD TURNING**

### **Abstract:**

In many cases, hardening of hardened steels is used in production. Currently, the most important problem is related to the properties-quality of the finished surface. This doctoral dissertation investigates the effect on the treated surface depending on the cutting parameters (cutting speed, feed rate, cutting depth, tool nose radius). made of steel to improve material C 55 (DIN). The rings are heat treated to the required hardness of  $52 \pm 2$  HRC. The dimensions of the rings are  $\Phi 102 \times \Phi 82 \times 20$  mm. The cutting plate material is made is made of mixed ceramic MC 2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ).

**Key words:** surface roughness, hard turning, cutting parameter.

**м-р Мевлудин Шабани**

**МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА РАПАВОСТ ПРИ  
ОБРАБОТКА СО СТРУЖЕЊЕ НА МЕТАЛИ СО ЗГОЛЕМЕНА ТВРДИНА**

**Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип**

## СОДРЖИНА

<b>1. ВОВЕД.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА И ДОСТИГНУВАЊАТА ВО ОБЛАСТА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО.....</b>	<b>19</b>
<b>3. НАУЧНОИСТРАЖУВАЧКИ ТЕЗИ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО.....</b>	<b>33</b>
<b>4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИСТРАЖУВАЊА (УСЛОВИ И РЕЗУЛТАТИ).....</b>	<b>36</b>
4.1. ОБРАБОТУВАН МАТЕРИЈАЛ.....	36
4.2. РЕЗАЧКИ АЛАТ (ДРЖАЧ И ПЛОЧКИ).....	38
4.3. ПАРАМЕТРИ НА ОБРАБОТКА И МЕТАЛОРЕЗАЧКА МАШИНА..	40
4.4. МЕРЕН УРЕД.....	41
4.5. РЕДОСЛЕД НА ИЗВЕДУВАЊЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТИТЕ.....	43
4.6. РЕЗУЛТАТИ.....	44
<b>5. МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА РАПАВОСТА ВО ПРОЦЕСОТ НА РЕЖЕЊЕ ПРИ ОБРАБОТКА СО СТРУЖЕЊЕ.....</b>	<b>49</b>
5.1. ОБРАБОТКА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИЗВЕДЕНИТЕ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕРЕЊА.....	49
5.2. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ.....	62
5.3. ГРАФИЧКА ИНТЕРПРЕТАЦИЈА НА МАТЕМАТИЧКИТЕ МОДЕЛИ.....	63
<b>6. АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ.....</b>	<b>66</b>
<b>ЗАКЛУЧОК.....</b>	<b>82</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>85</b>
<b>ПРИЛОГ.....</b>	<b>88</b>





## 1. ВОВЕД

### ***Дефинирање на основните поими поврзани со истражувањето***

Во современата индустрија, реализацијата на производите е придружена со многу предизвици, конкуренцијата на пазарот е најголемиот предизвик за производителот. Надминувањето на конкуренцијата бара искрена посветеност на сите сегменти на производствената организација; за да се заврши оваа работа, мора да се најдат начини или методи кои го претвораат производот во конкурентна предност; терминот конкурентска предност може да се дефинира како одлика на организацијата која има за цел да ја направи својата понуда во очите на купувачот попријателна од онаа на конкуренцијата. Во современото управување постојат две конкурентни стратегии кои го одредуваат опстанокот на производот на пазарот: стратегијата за цени, и квалитетот. Со еден збор, организацијата треба да посвети посебно внимание на комбинацијата на овие два важни фактори низ целиот синџир на снабдување.

Технолошкиот процес на обработка на режење е еден од главните технолошки процеси за добивање машински делови од полупроизводи. Со стружење, особено обработка на материјали со зголемена тврдина (тврдина поголема од 45HRC), како што е челик, може да понуди атрактивни предности во смисла: поголема е стапката на смалување-симнување на материјал, пократко време на поставување и намалена цена на производство, таа стана потенцијална замена за конвенционалното брусење. Треба да се напомене дека сите напори да се најдат неопходните процесни параметри, имаат единствена цел – да се најдат оптимални параметри за обработка. Од досегашните истражувања во оваа област, може да се види дека целата научна и деловна заедница работи со големо темпо кон изнаоѓање нови методи за зголемување на продуктивноста, што пак паралелно го привлекува ангажманот во истражување на нови материјали со високи технолошки перформанси и со зголемена тврдина. Всушност, за време на моето истражување наидов на многу дела кои од различни перспективи ги анализираат материјалите за режење и факторите што го карактеризираат процесот. Заеднички именител на овие обврски е совршенството и интензивирањето на процесот на обработка со режење.

Сепак, реализацијата на производот бара исполнување на голем број фактори, меѓу кои и економскиот. Правилното истражување значи вклучување на три важни фактори, познати како параметри на процесот на режење кои можеме да ги поделиме во три важни групи: Истражени влезни параметри (материјалот за обработка и неговите својства, Параметрите на режење (брзина, помест и длабочина), Геометриски параметри на алатката за режење, состојба на алатката и системот машина, затегнување, алат, работни парчиња, и сл.), процес на истражување (физичко-хемиски механизам за отстранување на струшка и физички ефекти) и испитувани излезни големини (технолошки ефекти како што се точност, квалитет на површината, издржливост на алатката за режење), итн.

За спроведување на експериментални мерења за утврдување на оптимални параметри за квалитет на рапавоста на обработената површина, за одредени влезни вредности, користен е методот на технолошка обработка, стружење на челик со зголемена тврдина. Според емпириските резултати, овој метод на обработка постигнува голема димензионална точност и рапавост од 0,01 mm, со минимални трошоци за производство.

Може да се констатира дека меѓу современите резачки материјали, сериозна улога играат резачките плочки, благодареејќи на своите многубројни предности. Истражувањата на затапувањето на керамичките резачки плочки се однесуваат во определувањето на нивните геометриски показатели на абеењето. Целта на многубројни истражувања е да се дојде до резултати за дефинирање адекватни услови на обработка, за постигување посакани технолошки и економски релации.

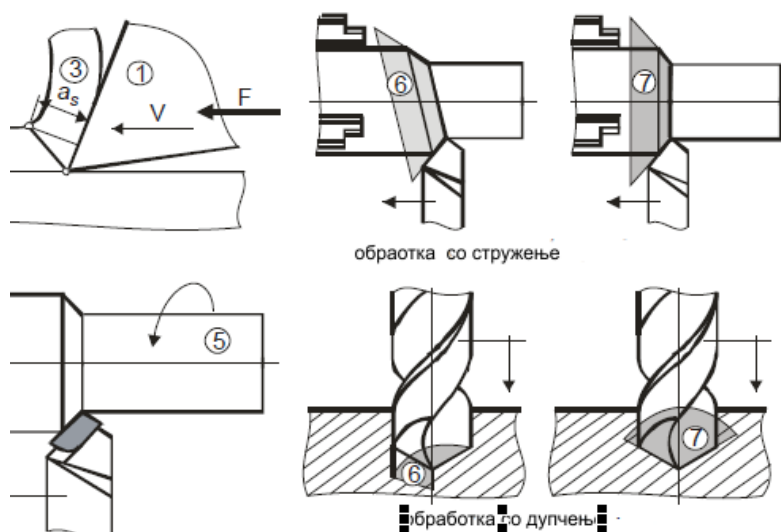
Технолошките процеси (постапки, методи) за обработка на металите со режење се процеси за обликување на обработувано парче (промена на обликот, димензиите, рапавоста на обработената површина и карактеристика на површинскиот слој) со отстранување на вишокот материјал, преку механичко дејство од режечкиот алат на обработуваното парче.

Основни технолошки процеси (постапки) за обработка на металите со режење се: стружење, глодање, пилење (отсечување), дупчење (со проширување, впуштање и развртување), рендосување, провлекување,

брусење и гланцање на површини (лепување, суперфиниш, хонување и полирање).

Обработката на металите со режење е процес на обликување со механичко отстранување на вишокот материјал со алатки, обично со значително поголема тврдина од тврдоста на материјалот на работното парче.

Процесот на режење се случува со продирање на клинот за сечење на алатот (1), со брзина  $v$ , во материјалот на работното парче (2). Со продирање на клинот за режење на алатот, под дејство на надворешна сила (сила на режење  $F$ ), вишокот материјал со дебелина  $a$  (длабочина на режење) се претвора во струшка (3) со дебелина  $a_s$ .



Слика 1.1: Основни процеси на режење [2]

Figure 1.1: Basic cutting processes [2]

Основните параметри на процесот со режење можат да се поделат на две групи: геометриски (геометрија на ножот) и технолошки. Технолошки параметри се: брзина, помест (брзина на помошното движење) и дебелина на режење или длабочина.

Во процесот на режење при стружење се разликува косо и ортогонално режење. Ако правецот на релативното движење помеѓу материјалот и работното парче е под агол во однос на сечилото на алатот за режење, тоа е косо режење (Слика 1.2 а). Ако правецот на релативното движење помеѓу

алатот и работното парче е нормално на сечилото од резниот алат тоа е нормално режење (Слика 1.2 б).



а) косо

б) нормално

Сл. 1.2: Косо и ортогонално стружење [1]

Fig. 1.2: Oblique and orthogonal turning [1]

Геометријата на стругарски нож е прикажана на Слика 1.3.

Положбата на предната и задната површина на резечкиот клин на стругарскиот нож е одредена со основната геометрија (Сл. 1.3) која ги опфаќа трите агли:

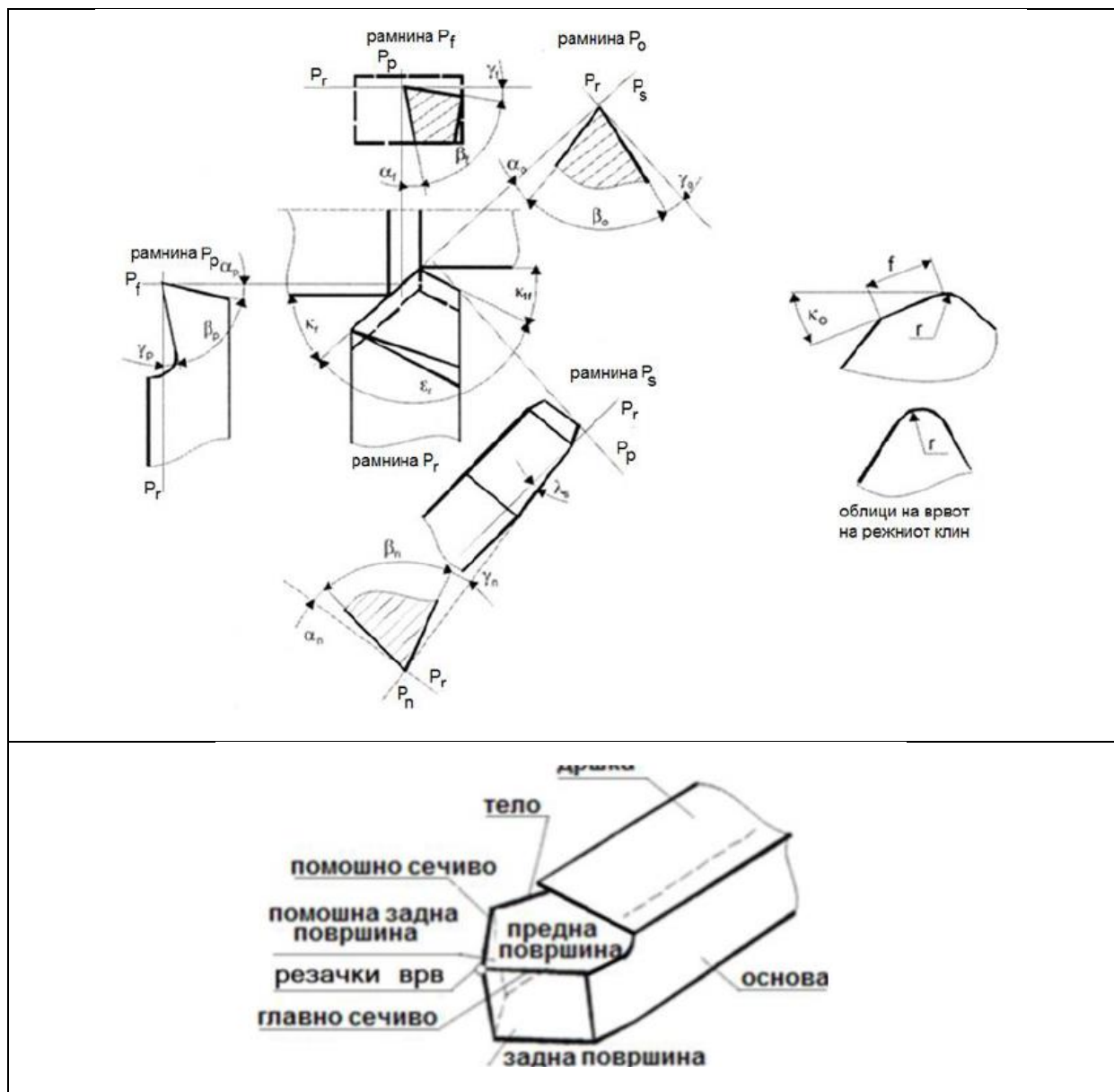
$\gamma$  - *преден агол*, агол помеѓу нормалата на резечката рамнина и предната површина на резечкиот клин;

$\alpha$  - *заден агол*, агол помеѓу резечката рамнина и задната површина на резечкиот клин;

$\beta$  - *агол на клинот*, агол помеѓу предната и задната површина на резечкиот клин.

Збирот на аглие  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ .

Резечката геометрија на ножот за стружење, покрај претходните агли на резечкиот клин, се дефинира и со:



Слика 1.3: Геометрија на стругарски алат [1]

Figure 1.3: Geometry of a lathe tool [1]

$\kappa$  - *нападен агол*, е агол помеѓу работното сечило од режечкиот клин и правецот на поместот;

$\kappa_1$  - *помошен нападен агол*, е аголот помеѓу помошното сечило од режечкиот клин и правецот на поместот;

$\epsilon$  - *агол на врвот*, е аголот помеѓу работното и помошното сечило;

$\lambda$  - *агол на наклонот на режечкиот клин*, е аголот помеѓу основната рамнина и работното сечило од режечкиот клин;

$r$  - *радиус на врвот*, е радиусот на заоблување на врвот на ножот;

$h$  - *висина на ножот*, е висината на телото на ножот помеѓу долната и горната хоризонтална површина, и

$b$  - *ширина на ножот*, е ширина на телото помеѓу страничните површини.

Аглите  $\gamma$  и  $\lambda$  можат да бидат позитивни, негативни и еднакви на нула.

Аголот  $\gamma$  е позитивен кога  $\alpha + \beta + \gamma < 90^\circ$ , а негативен кога  $\alpha + \beta + \gamma > 90^\circ$ .

### **Квалитет на обработка**

Квалитетот на обработеното парче е комплексен показател и функција од квалитетот на: конструкцијата на делот, обработниот систем, технолошкиот процес, појдовниот материјал, и сл.

Квалитетот на изработка и обработка на делови (парчиња) опфаќа:

- точност на обработката;
- квалитет на обработената површина.

Овие два комплексни показатели на квалитетот на обработка се во меѓусебна зависност, различни за секој обработен систем и функција од голем број влијателни фактори.

Точноста на обработка опфаќа:

- точност на димензиите;
- точност на формата (обликот на површината), и
- точност на меѓусебниот однос на две или повеќе површини.

Точност на димензии претставува степен на блискост на постигнатите димензии на обработените делови (дијаметар на цилиндрична површина, длабочина на дупка, агол на конус, и сл.) со зададените димензии на деловите во конструктивно-технолошката документација.

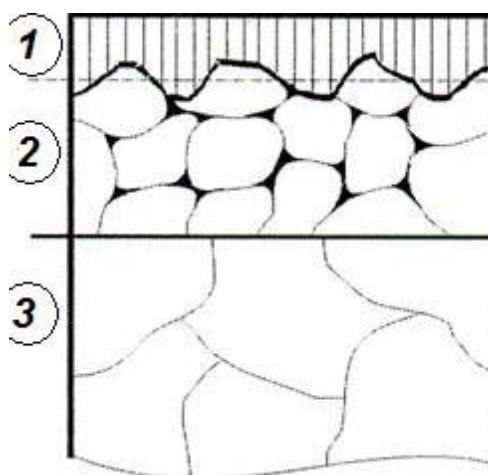
Отстапување од форма е отстапување на стварната форма остварена во процесот на обработка од идеалниот модел зададен на конструктивниот цртеж.

Дозволените отстапувања од форма (облик) се: правост, рамност, кружност, цилиндричност, облик на површина и облик на линија.

Отстапувања од положбата на површината се отстапувања на меѓусебната положба на површината во однос на идеалната. Дозвољени отстапувања на положбата се отстапувањата: на правец (паралелност, нормалност и агол на наклон), отстапувања на место (локација, концентричност, коаксијалност и симетричност) и отстапувања на точност на вртење (точност, кружност и рамност на вртење).

Квалитетот на обработената површина, излезната површина во процесот на режење секогаш е обработената површина. Под обработена површина се подразбира површински слој на материјалот непосредно под површината добиена со обработка. Според Schmalz тоа е тенок слој на материјал составен од два дела, Слика 1.4, и тоа:

- надворешен граничен слој;
- внатрешен граничен слој.



Слика 1.4: Обработена површина според Schmalz: 1 - надворешен граничен слој, 2 - внатрешен граничен слој, 3 - структура на основниот материјал [1]

Figure 1.4: Treated surface according to Schmalz: 1 - outer boundary layer, 2 - inner boundary layer, 3 - structure of base material [1]

Надворешниот граничен слој со дебелина од околу  $0,0001 \div 0,001$  [mm] е слој кој ја дели металната површина на обработеното парче од атмосферата. Составен е од апсорбирана вода, масла, гасови, органски соединенија и слој на оксид, настанати по реакцијата на обработената површина со средината во која е извршен процесот на обработка.



Внатрешниот граничен слој со дебелина од  $0,01 \div 0,05$  [mm] е тенок преоден структурно изменет слој на материјалот во однос на структурата на тој материјал пред обработката. Физичките и хемиските особини на овој слој битно се разликуваат од основниот материјал.

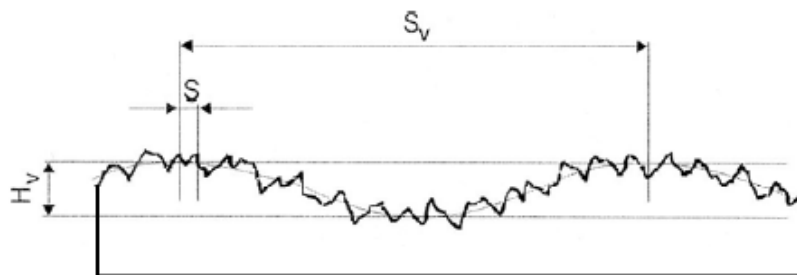
Квалитетот на обработената површина се дефинира преку:

- Геометриски показатели (отстапување од форма, овалност и рапавост);
- Физичко-механички карактеристики на површинскиот слој (структура, микротврдина и заостанати напони).

Основни карактеристики на микрогеометријата на обработената површина, Слика 1.5, се:

- Брановидност и
- Рапавост на обработената површина.

Брановидност на обработена површина се дефинира со нерамнини кај кои односот на чекорот ( $S_v$ ) и висините на нерамнините ( $H_v$ ) е поголем од 40 ( $S_v/H_v \geq 40$ ).



Слика 1.5: Брановидност и рапавост на обработена површина [1]

Figure 1.5: Waviness and roughness of the treated surface [1]

Рапавост на обработена површина е збир од сите нерамнини кои го формираат релјефот на површината во граници на избран исечок. Рапавоста зависи од обработниот процес, режимите на режење, посебно од формата и состојбата на режечките рабови и абењето на режните елементи на алатот, вибрациите, крутоста на обработниот систем, и сл.

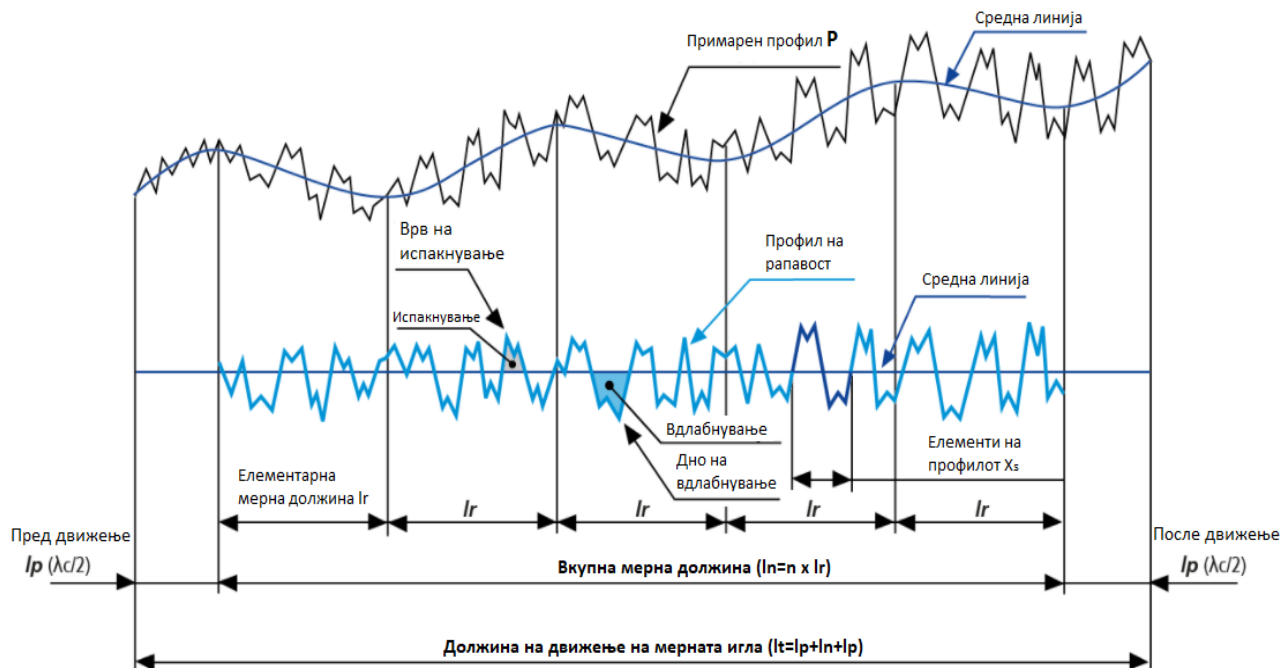
Профилот на рапавост може да се дефинира преку поголем број параметри.

Овде се дефинирани само параметрите кои ќе бидат предмет на истражување во докторската дисертација.

Профилот на рапавост  $R$  на обработената површина е дел од вкупниот профил на површината кој ги содржи и профилот на брановидност  $W$  и примарниот профил  $P$ . Профилот на рапавост  $R$ , е профил добиен од примарниот профил  $P$  со исклучување на сите брановидни компоненти од профилот, Слика 1.6.

- **Средна линија** - е референтна линија од која се изразуваат (мерат) девијациите (точки) на примарниот профил, профилот на рапавост и брановидност. Таа претставува нулто ниво за целиот профил;
- **Должина на движење на иглата  $l_t$**  - го претставува вкупниот поминат пат на мерната игла, кога таа се движи по површината која се мери и е збир од должините на „пред движење“, вкупната мерна должина и „после движење“;
- **Вкупната мерна должина  $l_n$**  - е дел од движењето на мерната игла, во правец на  $x$  - оската, која се користи за определување на вредностите на дел од параметрите на профилот на рапавоста ( $R_t, R_z, R_{mr} \dots$ );
- **Елементарната мерна должина  $l_r$**  - е дел од вкупната мерна должина во правец на  $x$  - оската, која се користи за определување на вредностите;
- **Средното аритметичко отстапување на профилот на рапавост  $R_a$**  - претставува средна аритметичка вредност на апсолутните вредности на ординатите (отстапувањата)  $Z_{(x)}$  на профилот на рапавоста во рамките на елементарната должина  $l_r$  [28]

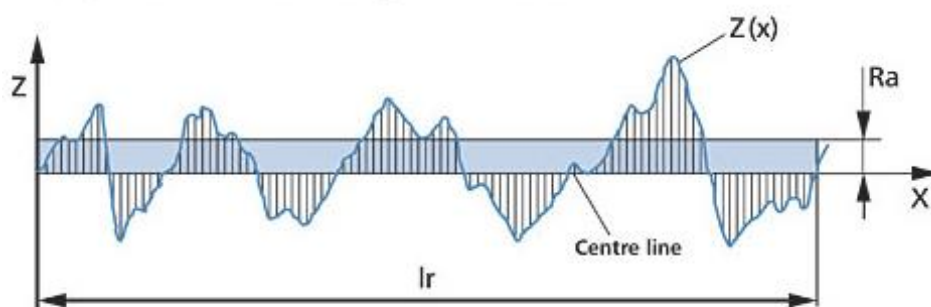
$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |z(x)| dx$$



Слика 1.6: Профил на обработена површина [27]

Figure 1.6: Profile of treated surface [27]

Графички, средното аритметичко отстапување на профилот на рапавоста претставува, растојание во правец на  $z$  - оска, помеѓу средишната линија и линијата која е добиена како средна аритметичка вредност од апсолутните отстапувања на профилот на рапавоста  $Z(x)$ , во рамките на елементарната мерна должина  $l_r$  [28].

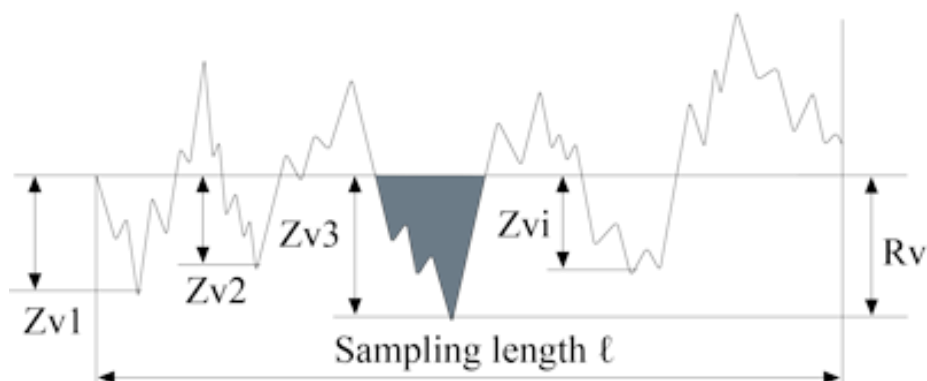


Слика 1.7: Графички приказ на средно аритметичко отстапување

Figure 1.7: Graphic representation of mean arithmetic deviation

- **Максимална длабочина на вдлабнувањето на профилот на рапавоста  $R_v$**  - е максимално растојание во правец на  $z$  - оска, помеѓу

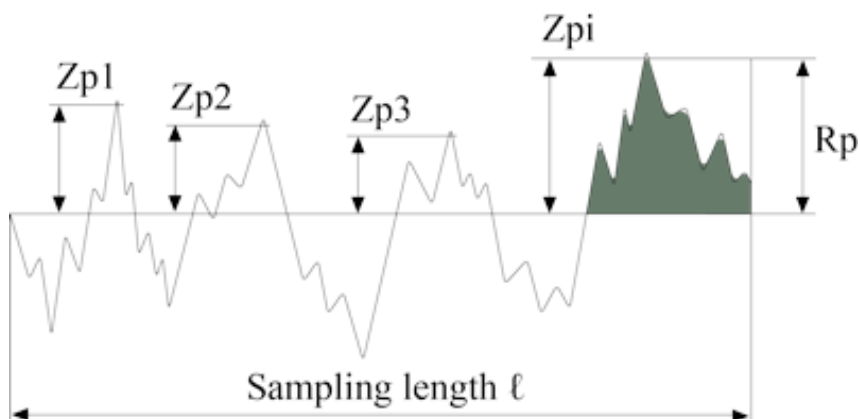
најниската точка од вдлабнувањето на профилот и средишната линија, во рамките на елементарната мерна должина  $l_r$ , Слика 1.7 [28].



Слика 1.8: Графички приказ на максимална длабочина на вдлабнување на профилот на рапавост  $R_v$  [29]

Figure 1.8: Graphic display of the maximum of bottom of profile valley of the roughness profile  $R_v$  [29]

- **Максимална височина на испакнувањето на профилот на рапавоста  $R_p$**  - е максималното растојание, во правец на  $z$  - оска, помеѓу највисокиот врв од испакнувањата на профилот на рапавоста и средишната линија, во рамките на елементарната мерна должина  $l_r$ , Слика 1.9 [28].

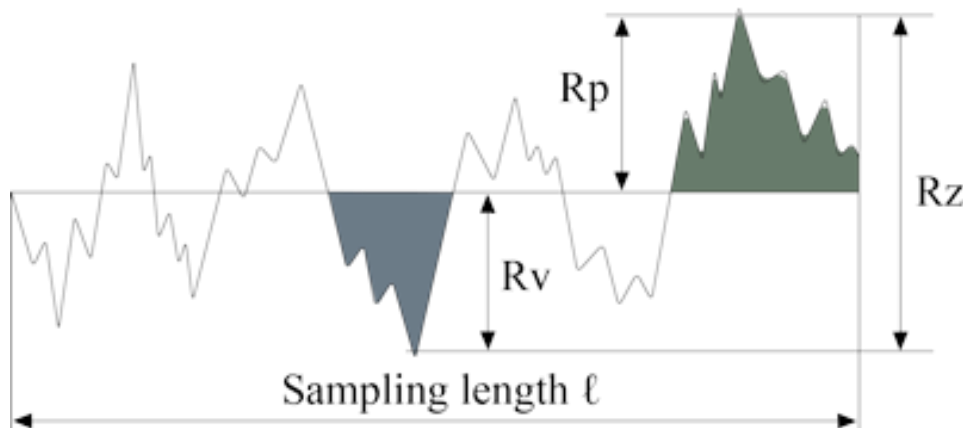


Слика 1.9: Графички приказ на максималната височина на испакнување на профилот на рапавост  $R_p$  [29]

Figure 1.9: Graphic display of the maximum height on the peak of the roughness profile  $R_p$  [29]

- **Максимална височина на профилот на рапавоста  $R_z$**  - е максималното растојание во правец на  $z$  - оска, меѓу најниската точка од вдлабнувањата и највисокиот врв од испакнувањата на профилот на рапавоста, во рамките на елементарната мерна должина  $\ell_r$ , Слика 1.10 [28].

$$R_z = R_p + R_v$$

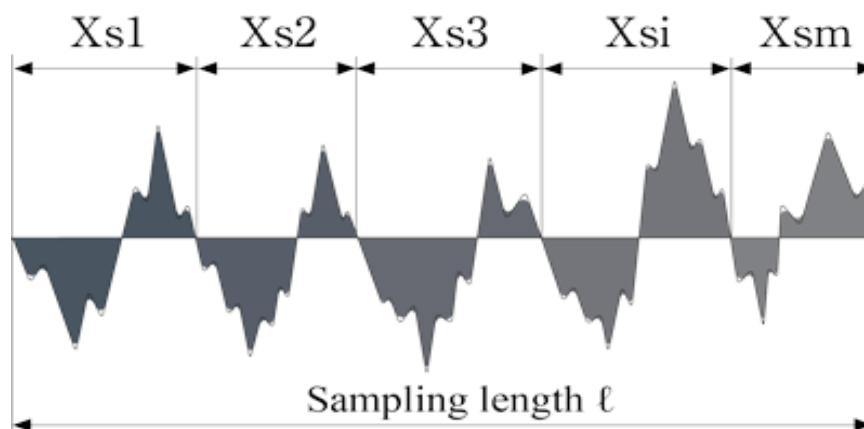


Слика 1.10: Графички приказ на максималната височина на профилот на рапавост  $R_z$  [29]

Figure 1.10: Graphic display of the maximum height of roughness profile  $R_z$  [29]

- **Средно растојание на рапавоста (елементите на профилот) -  $R_{sm}$**  - претставува средна вредност од растојанијата  $X_{si}$  на елементите на профилот на рапавоста во рамките на елементарната мерна должина  $\ell_r$ . Со други зборови, средно растојание на рапавоста претставува аритметичка средна вредност на растојанијата мерени во насока на  $x$  - оска, помеѓу две соседни точки кои лежат во пресекот на профилот на рапавоста и средишната линија и кои имаат прв извод од ист знак, Слика 1.11 [28].

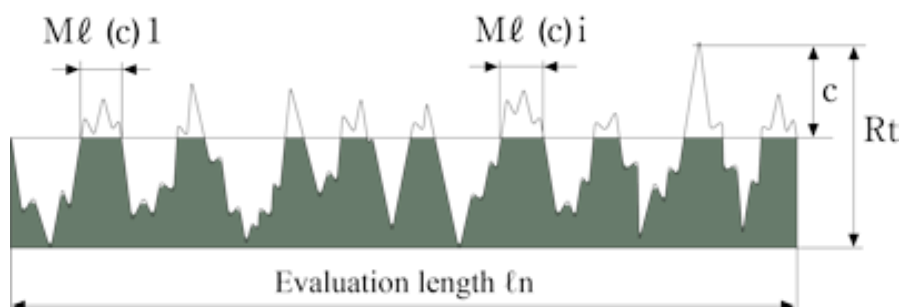
$$R_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$



Слика 1.11: Графички приказ на средното растојание на рапавоста (елементите на профилот) -  $R_{sm}$  [29]

Figure 1.11: Graphic display of the mean distance of roughness (profile elements) -  $R_{sm}$  [29]

- **Материјален однос на профилот (материјален коефициент)  $R_{mr}(c)$**  - претставува однос на материјалните должини на профилните елементи  $Ml(c)$  за дадено ниво „ $c$ “, во рамките на вкупната мерна должина  $l_n$ , Слика 1.12 [28].



Слика 1.12: Графички приказ на материјалниот однос на профилот -  $R_{mr}(c)$

Figure 1.12: Graphic representation of the material ratio of the profile -  $R_{mr}(c)$

Параметрите на рапавост, како дел од од параметрите кои ја опишуваат гаметриската структура на површината, многу често се поставуваат и како критериум за квалитет при добивањето на машинските делови, независно од начинот на нивно добивање. Повеќето појави, како што се подмачкување, триење/абење, рефлексција, и сл., директно зависат од гаметриската структура на површината и рапавоста на површината. Затоа профилот на рапавост и параметрите на рапавост, отсекогаш биле цел на истражување на голем број истражувачи, без разлика дали станува збор за материјали со нормална или зголемена тврдина. Како се менувале и усовршувале техниките за мерење на профилот на рапавост и параметрите на рапавост, а со тоа и софтверските

можности за реализација на DOE, така се менувал и пристапот и техниките за предвидување и развој на математички модели за параметрите на рапавост. Минатото покажало дека секој нов пристап во оваа насока, бил препознаен од стручната јавност и наоѓал директна практична применливост.

Денес можат да се најдат голем број литературни извори (наведени во втората точка) во кои се истражуваат најразлични пристапи на моделирање и предвидување на параметри на рапавост при обработка со стружење на материјали со зголемена тврдина. Но, и покрај ваквата состојба, може да се заклучи дека кај постоечките истражувања истовремено се разгледуваат само мал број параметри на рапавост, а најчесто тоа се параметрите  $R_a$  и  $R_z$  ( $R_t$ ).

Положбата на средната линија на профилот на рапавост е во директна функција со обликот на профилот на рапавост.

Токму горенаведеното ја дава научната оправданост на темата. Истражувањата кои ќе се спроведат треба да резултираат со истовремено добивање на математички модели за предвидување на параметрите  $R_a$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_z$ ,  $R_{sm}$  и  $R_{mr}$  (50 %  $P_t$ ), што ќе претставува еден вид проширување и новина во однос на досега реализираните истражувања кои се однесуваат на обработките со стружење на материјали со зголемена тврдина.

## **2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА И ДОСТИГНУВАЊАТА ВО ОБЛАСТА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО**

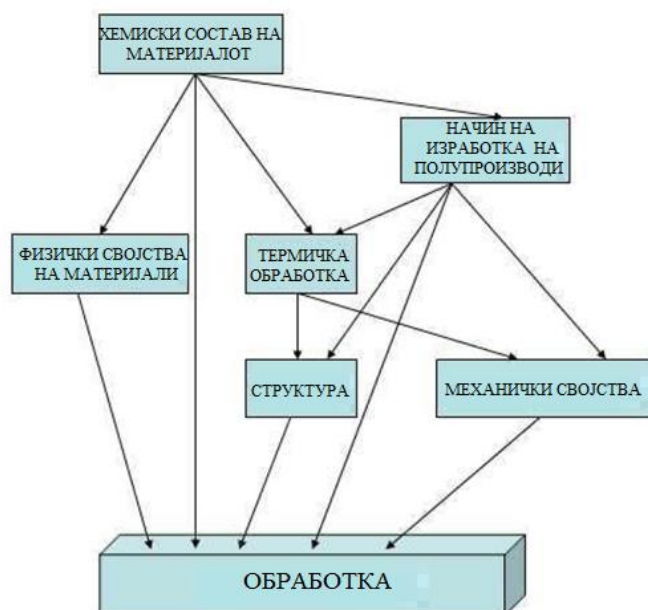
Во областа на производството во обработка на режење, квалитет на производот значи исполнување на општите фактори од технолошка гледна точка, како што се видот на суровините што се користат за производство, степен до кој се применуваат различни технологии на производство, способноста и искуството на работната сила што е вклучена во производствениот процес, достапност на ресурси поврзани со производство како што се снабдување со електрична енергија и вода, транспорт, итн. [4].

За да се постигне одржлив квалитет на производот, мора да се постават барања како: технолошки квалитет (својства на материјалот, димензионална точност и карактеристики на површинскиот слој) и квалитет на експлоатација (отпорност на абеење, отпорност на абеење на контактните површини, отпорност на корозија и рефлексивност на површината), кои треба да бидат исполнети [5].

Најдобар работен материјал е оној што овозможува најбрзо отстранување на најголемата количина на материјал со задоволителен квалитет на обработената површина. Може да се каже дека обработливоста се рефлектира како резултат на неколку различни дејства на факторите на процесот на режење, во однос на параметрите на режење (брзина, помест и длабочина на режење [9].

Обработливоста, генерално, ќе биде подобра колку што е поголем бројот на критериуми за работа (функции), што ќе има поголемо позитивно влијание. Исто така, постои можност за контрадикторни резултати, на пример, во случај материјалот да има добра обработливост според критериумот за стабилност на резното сечило на алатка, а во исто време да нема задоволителна обработливост поради склоноста да се создава адхезија според критериумот за квалитет. Шематски приказ на факторот на влијание врз обработливоста е прикажан на следната Слика 2.1 [10].





Сл. 2.1: Пример за поделба на влијателните фактори врз обработливоста на материјалите [10]

Fig. 2.1: Example of division of the factors influencing the workability of materials [10]

Сепак, самиот процес е многу сложен, бидејќи зависи од многу фактори, кои влијаат секој на различен начин. Затоа, од фактот дека сите овие фактори се разликуваат со различни карактеристики и влијаат на различни начини, можеме да заклучиме дека технолошкиот процес се карактеризира со три групи на фактори кои се меѓусебно поврзани во различни форми и бараат детално истражување, и тоа:

- Влезни фактори (предмет, параметри на режење, геометриски параметри, состојба на алатката, систем за обработка на МПОА - металорежачка машина - помагало, стегачка глава - обработуван предмет - резачкиот алат);
- Излезни фактори (технолошки ефекти како: точност, квалитет на површниот слој, структура, и сл.);
- Фактори на истражениот процес (физичко-хемиски механизам на режење како: триболошки појави, топлотни појави, динамички појави, и економски ефекти [11]).

Во својата широка дефиниција, обработката со стружење материјали со зголемена тврдина е обработка на делови со тврдост над 45 HRC, иако најчесто процесот се однесува на тврдост од 58 до 68 HRC. Материјалите за

обработка вклучуваат различни легирани челици, алатни челици, суперлегури, нитрирано железо и тврд хромиран челик, и сл. Тоа главно е процес на завршна обработка каде што треба да се постигне висока димензионална точност, форма, форма и точност на површинската изработка [12].

Стружењето на материјали со зголемена тврдина се применува во различни индустрии, бидејќи материјалот е тврд, силата на режење, температурата и заостанати напони, трошењето на алатот, квалитетот на површината, и сл. зависат и од режимот на стружење, материјалот на алатот (резна плочка), и сл.

Направени се многу истражувања на конвенционални машини, при математичкото моделирање, во литературата има малку инфомации. Тие се фокусирани на експериментални истражувања.

Зголемувањето на предниот агол  $\gamma$  од нула кон позитивните вредности покажува намалување на нерамнините, кое се објаснува со зголемувањето на аголот на смолкнување, намалувањето на должината на зоната на смолкување, смалување на пластичната деформација во зоната на режење, и сл. На рапавоста на обработувана површина имаат влијание и главниот и помошниот агол на поставување. Со смалување на овие агли се намалуваат нерамнините, притоа се нагласува дека оваа констатација е како резултат на непосредното и посредното нивно влијание [11].

Бекир Јалчин во неговиот научен труд „Површинскиот слој и силите на режење при стружење на челик за алати со мешана керамика и CBN (кубни бор нитрит) резниот алат“ тврди дека, генерално, CBN и керамичките алатки се препорачуваат за завршна обработка на тврди материјали поради нивните соодветни својства. Студијата беше спроведена за да придонесе за истражување за избор на алатки CBN или мешани керамички алатки за стружење на челик со зголемена тврдина, истражување на ефектите од тврдоста на материјалот на работното парче, параметрите на режењето и видот на алатот врз рапавоста на површината, силите на режење и формирањето на струшка; некои од експериментите потврдија дека

вредностите на рапавоста на површинскиот слој со керамички резни алатки се поголеми од оние на алатката CBN. Од друга страна, компонентите на силата на режење со алатка CBN беа повисоки од оние на мешаната керамичка алатка [6].

Голем е бројот на објавени резултати од истражувањата на карактеристиките на површинскиот слој, а тие можат да се поделат на оние што се однесуваат на геометрирска структура на површина, и оние во кои се образложени физичките и хемиските особини на зоните од површинскиот слој [11].

Во првата група се содржани резултатите од истражувањата за одредување на влијанието на параметрите на обработка со режење  $v$ ,  $s$ ,  $a$  и геометрирските својства на резачката плочка. Порастот на резачката брзина покажува дека предизвикува смалување на височинските параметри на рапавоста, иако ова влијание нема посебно значење. Порастот на резачкиот помест значително влијае на нерамнините, додека порастот на длабочината на режење малку влијае на зголемување на нерамнините. Радиусот на врвот на резачка плочка како геометрирско својство има посебно значење при површинска обработка, бидејќи неговиот интензитет на зголемување предизвикува намалување на  $Ra$ . Во истражувањето на влијанието на радиусот на заоблување на резачкото сечило, имено, зголемувањето на  $\rho_n$  до  $150\text{ }\mu\text{m}$  влијае на порастот на параметрите  $Ra$ ,  $Rz$  и  $R_{max}$ . Понатамошно зголемување на  $\rho_n > 250\text{ }\mu\text{m}$  доведува до појава на вибрации [7].

T. Zhao и др., во неговата студија „Ефект на радиусот на резниот врв врз површината на рапавост и абеењето на алатот при тврдо стружење на челик AISI 52100“, вршејќи експериментално истражување за да се разбере влијанието на радиусот на врвот од резачкиот клин врз перформансите на машинската обработка во однос на површинскиот слој и абеењето на резниот алат, дојде до заклучок дека: „Перформансите на резниот алат при стружење на челик со зголемена тврдина значително влијаат врз неговата микрогеометрија, како на пр., радиус на врвот“ [13].

Според Е. Д. Дерахаасам, и А. А. Акбари, стружење на материјал со зголемена тврдина се смета за иновативен процес на обработка насочен кон стружење на челик со зголемена тврдина со високи квалитети на површината. Процесот е добра алтернатива за многу процеси на машинска обработка со брусење. Авторот на овој труд тестираше емпириска изводливост за користење на овој нов метод наместо брусење во многу индустриски апликации, одредување на ефектот на независни параметри како што се тврдоста на материјал и брзина на режење врз површинскиот квалитет и абеење на резниот алат при операции со тврдо стружење [14].

Сегашните истражувања треба да го истражат последичниот ефект на параметрите на режење (брзина на режење, помест и длабочина на режење) на рапавоста на површината ( $R_a$ ) со примена на комбинирани техники како што е Ортогонална низа и Анализа на варијанса (дисперзии - отстапувања) при стружење на челик со зголемена тврдина AISI 4140 (52 HRC) со PVD-TiN обложени, мешани со  $Al_2O_3 + TiCN$  керамички влошки (резни плочки) под суво опкружување. Машинските карактеризирања на површината и анализата на трошоците се испитани во оваа студија, заедно со оптимизација и развој на математички модели за рапавоста на површината. Резултатите покажуваат дека поместот е главниот параметар на режење што влијае на рапавоста на површината, проследено со брзина на режење. Потоа, се прават набљудувања на машинската површина со скенирање на електронски микроскоп (SEM) за да се утврди процесот. Врз основа на методологијата на површинска реакција (RSM), развиен е математички модел за рапавоста на површината ( $R_a$ ) со 95 % ниво на доверба. Ефективноста, соодветноста, статистичкото значење и валидноста и соодветноста на податоците на развиениот модел се проверени со помош на анализа на ANOVA и анализирани со RSM (во зависност од вредноста на  $P$ , вредноста на  $F$  и вредноста на  $R^2$ ). Конечно, за да се оправда економската одржливост при користење на TiN обложена керамичка влошка (плочка) при тврдо сружење, извршена е анализа на трошоците заснована врз вкупните трошоци за машинска обработка по дел (парче). Проценетата цена на машинска обработка по дел за керамика обложена со TiN се покажа дека е

помала, заради поголемиот век на употреба на алатот (51 min), што резултира во намалување на времето на застој и зголемување на заштедите [16].

Истражувачката работа на авторите од овој труд се однесува на изработка на модел на рапавост на површината во случај на стружење на челик со зголемена тврдина со експлоатација на методологијата на површинска реакција - функција (RSM). Главните влезни параметри на овој модел се параметрите за режење, како што се брзината на режење, поместот, длабочината на режење и вибрациите на алатот во радијални и во главните насоки на силата на режење. Обработениот материјал тестираше челик со зголемена тврдина 42CrMo4 од  $Al_2O_3$  / TiC мешана алатка за режење керамика под различни услови. Моделот е во состојба да предвиди рапавост на површината на  $Ra$  и  $Rt$  користејќи експериментални податоци при обработка на челици. Комбинираните ефекти на параметрите на режење и вибрациите на алатот врз рапавоста на површината беа испитани при примена на анализа на дисперзија - отстапување (ANOVA). Квадратниот модел на (RSM) поврзан со техниката на оптимизација на одговор и компотентни пожелности беше искористен за наоѓање оптимални вредности на параметрите на режење и вибрации на алатката со почитување на најавените цели што се предвидување на рапавоста на површината. Резултатите покажуваат дека стапката на помест е доминантен фактор што влијае на рапавоста на површината, додека вибрациите и во двете претходно наведени насоки имаат слаб ефект врз него [17].

Оваа студија се фокусира на оптимизирање на параметрите на стружење засновани на Методот Тагучи за да се минимизира рапавоста на површината ( $Ra$  и  $Rz$ ). Експерименти се спроведени со употреба на Ортогонална низа L9 на CNC струг. Тестовите за суво стружење се вршат на тврдиот AISI 4140 (51 HRC) со алати за режење од карбид. Секој експеримент се повторува три пати и секој тест користи нова плочка на режење за да обезбеди точни отчитувања на рапавоста на површината. Се применуваат статистичките методи на односот сигнал на бучава (SNR) и анализата на варијанса - дисперзија (ANOVA) за да се испитаат ефектите на брзината на режење, поместот и длабочината на режење на рапавоста на површината.

Резултатите од оваа студија покажуваат дека стапката на поместот има најзначајно влијание врз  $Ra$  и  $Rz$ . Покрај тоа, се чини дека се важни ефектите од две факторски интеракции на поместот - брзината на режење, длабочината - брзината на режење. Развиениот модел може да се користи во индустријата за метална обработка со цел да се утврдат оптималните параметри за режење за минимална рапавост на површината. Методот на Тагучи обезбедува моќен и ефективен пристап за оптимизирање на условите за режење при стругање. Експерименти се спроведени со употреба на L9 ортогонална низа во CNC струг. Според анализата на (ANOVA), стапката на помест има ефект врз  $Ra$  и  $Rz$  на ниво на сигурност од 95 % [18].

Сегашната работа го проучува ефектот на три варијабли (брзина на стругање, помест и длабочина на режење) кон рапавоста на површината со усвојување на ортогонален начин на стругање. Извршен е експеримент при стружење на челик со зголемена тврдина на челик AISI 1045 со алатка YT5. Анализата на варијанса (ANOVA) и моделот на регресија сугерираат дека поместот има големо влијание врз рапавоста на површината во споредба со другите две варијабли. Контурниот графикон и површинскиот запис, заснован на регресивниот модел, ја покажуваат корелацијата помеѓу одговорот - одсив (рапавоста на површината) и сите можни комбинации во парови на трите варијабли. Со цел да се добие посакуваната рапавост на површината, се добиваат оптимални параметри за режење со развој на Метод за оптимизација [19].

Прецизно стружење на челик со зголемена тврдина е процес за подобрување на површинскиот интегритет на функционалните површини. Експериментите за машинска обработка се вршат на тврди лежишта AISI 52100 во сува состојба со употреба на алатки за режење c-BN. Целосен факториелен експериментален дизајн се користи за да се карактеризира ефектот на параметрите на режење. Бидејќи површинската топографија се карактеризира со бројни параметри на рапавост, нивната релативна релевантност се испитува со статистички индекси на перформанси пресметани со комбинирање на Анализа на варијанса (промена, дисперзија), Дискриминаторска - Разликувачка

анализа и Bootstrap method (ова е статистичка постапка што наликува на една база на податоци за да создаде многу симулирани примероци). Анализата покажува дека односот на должината ( $L_r$ ) на профилот и просекот на рапавоста ( $R_a$ ) се релевантни параметри на рапавоста кои најдобро го дискриминираат ефектот на параметрите на режење и овозможуваат класификација на површините што не можат да бидат карактеристични по еден параметар: ниска должина на профилот односот  $L_r$  ( $L_r = 100,23 \%$ ) е јасно различен од неправилна површина што одговара на соодносот на должината на профилот  $L_r$  ( $L_r = 100,42 \%$ ), додека вредностите на  $R_a$  рапавоста се речиси идентични.

Експериментален дизајн, извршен е целосен факториелен експериментален дизајн ( $2^3$ ) за да се анализира ефектот на параметрите на режење (брзина на режење, помест и длабочина на режење). Нивоата на параметрите за режење беа утврдени со прелиминарна студија и според карактеристиките на CNC прототипот на струг за обработка на челик со зголемена тврдина. Извршена е повеќекратна линеарна регресивна анализа за да се моделира врската помеѓу факторите (брзина на сечење, помест и длабочина на сечење) и просекот на рапавоста  $R_a$  со поставување линеарна равенка [20].

Микростружење е микромеханичко режење, метод кој се користи за производство на цилиндрични делови со мал дијаметар. Бидејќи дијаметарот на делот е обично мал, може да биде малку тешко за подобрување на површинскиот квалитет со втора операција, како што е брусене. Затоа, важно е да се добие добра завршна површина во процесот на микростружење користејќи идеални параметри за режење. Тука, мултиобјективната оптимизација на параметрите на процесот на микростругање, како што се брзината на режење, поместот и длабочината на режењето, беа извршени со Метод на реакција - функција на површина (RSM). Два важни индекси за обработка, како што се рапавоста на површината и стапката на отстранување на материјалот, беа истовремено оптимизирани при микростружење на легура Ti6Al4V. Понатаму, анализата на електронскиот микроскоп за скенирање (SEM) беше направена на алатките за режење. Вкупните резултати прикажуваат дека стапката на помест е истакнат фактор што значително ги реагира одговорите

при работењето со микростружење. Покрај тоа, резултатите од (SEM) потврдија дека абразијата и механизмот на абеење на кратерот се забележани при микроструење на легура Ti6Al4V [21].

Едно од најважните барања на производството на делови е квалитетот на површината. Ова е така затоа што најважниот дел е исполнување на специфичните барања на клиентите. Рапавоста на површината е водечки показател за квалитетот на деловите со машинска површина. Во сегашната работа во експериментална студија да се постигне со примена на Методот Тагучи да се истражува ефектот на три параметри, кои се познати како брзини на сечење од (45, 90 и 135 m/min), помест (0,1, 0,2 и 0,3 mm/vrt), и длабочина на пресек од (0,05, 0,1 и 0,15 mm) на мерната изведба на рапавоста на површината ( $Ra$ ). Така, да се утврдат оптималните нивоа и да се анализира влијанието на параметарот за режење врз вредностите на завршната површина со примена на различен Метод на ортогонална низа, сооднос (S/N), Анализа на варијанса (ANOVA). За време на работата користени се два модела за предвидување. Првиот е познат како Метод на анализа на регресија, а вториот е Метод на адаптивна - нервна мрежа (ANN) потпирајќи се на практични резултати. Постигнатите резултати покажуваат дека способноста за проценка и предвидување на нервните мрежи е подобра од Анализата на регресијата. Експерименталните резултати се потврдени со оптимални нивоа на параметрите за обработка кои се разјаснети со употреба на Методот за оптимизација на Тагучи. Исто така, посочените резултати од Методот на Тагучи ја покажуваат неговата способност да го подобри процесот [22].

Стружењето на челици со зголемена тврдина се применува во многу случаи во производството. Во моментот, најважниот проблем се однесува на својствата на завршната површина. Овој труд го истражува ефектот врз завршувањето на површината при континуирано суво стружење на челик со зголемена тврдина кога се користат алати од поликристален кубен нитрит. Проценети се површинските профили (2Д анализа) и површинската топографија (3-Д анализа), генерирани за време на операцијата за тврдо стружење на челик од легури на низок хром EN 41Cr4, термички обработен до тврдост од 58 HRC.



Кај 2-Д анализа, четири компоненти на текстурата (структура - состав) на површината можат да се разликуваат во обработениот површински профил, имено: форма, брановидност, рапавост и микротврдост. Кај 3-Д анализата, традиционалната анализа на завршна површина се состои главно од проучување на текстурата на површината, која се состои од рапавоста и брановидноста. Ова имплицира дека другите компоненти на релјефот (формата и микроситноста) се отстранети. Овој труд ја воведува мултипараметарската карактеризација на површината при стружење со различни материјали за алати [23].

Брановата должина на формата како компонента на завршувањето на површината е слична на брановата должина на објектот. Отстапувањето на измерената форма од теоретската ја демонстрира строго димензионалната обработка на формата, но таа треба да се отстрани за да се анализира површинската текстура. Компонентата на текстурата на површината, варирајќи по хоризонталната насока се нарекува брановидност - кога промените се бавни, и рапавост - кога промените се побрзи.

Рапавоста е одлучувачка за визуелниот аспект на текстурата, триењето и абењето.

Најдобрата компонента на текстурата на површината, составена од високи фреквенции, е микротврдоста. Оваа компонента обично има многу мала енергија и е испуштена кога се оценува рапавоста.

Традиционалната анализа на завршна површина се состои главно од проучување на текстурата на површината (3-D анализа), која се состои од рапавоста и брановидноста. Ова имплицира дека другите компоненти на релјефот (формата и микроситноста) се отстранети.

Во овој труд, Тагучи Дизајн се користи за идентификување на оптимална комбинација на параметри за стружење за да се минимизира рапавоста на површината. Експериментите за стружење се вршат според ортогоналната низа Тагучи L9 за различни комбинации на четири параметри: брзина на режење, помест, длабочина на режење и радиус на плочката. За секое извршување на експериментот, рапавоста на површината  $Ra$  се мери,

евидентира и анализира со помош на односите на Taguchi S/N (Signal-to-Noise). За да се потврди ефективноста на оптимизацијата на Тагучи, се користат Тест за потврда и Модел на регресија. Се мери рапавоста Ra во зависност од брзината, поместот, длабочината на струшката и радиусот на врвот.

Комплетниот факторијален дизајн е експеримент чиј дизајн се состои од два или повеќе фактори, секој со дискретни можни нивоа и чии експериментални единици ги преземаат сите можни комбинации на овие нивоа во сите такви фактори. Овој факторијален дизајн му овозможува на неговиот корисник да го проучува влијанието на секој фактор врз променливата на одговор (функција на променливата), како и ефектите од интеракциите на факторите врз променливата на одговор.

Повеќекратната регресија е статистички метод што ни овозможува да ја одредиме корелацијата помеѓу континуирана зависна променлива и две или повеќе континуирани или дискретни независни варијабли. Може да се користи за различни цели, како што се анализа на експериментални, редни или категоријски податоци [24].

Абењето (истрошувањето) на режечкиот алат доведува до губење на неговите режечки способности и влијае негативно на трајноста на алатот, квалитетот на обработената површина и нејзината димензионална точност, а со тоа и врз економичноста на процесот на режење. Основниот триболошки систем при обработката на металите со режење го сочинуваат: режечкиот алат, обработуваното парче и работната средина која најчесто е средството за ладење и подмачкување.

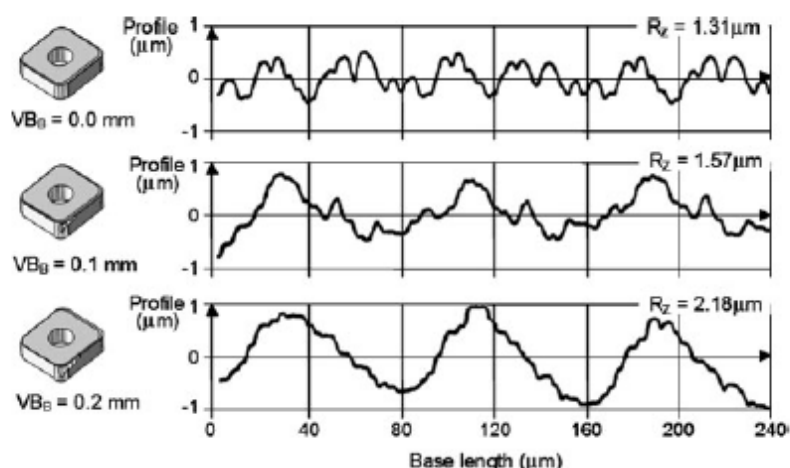
Триболошкиот систем во процесот на режење има два контакти:

- Контакт на предната површина на режечкиот клин од режечкиот алат со струшката, и
- Контакт на задната површина на режечкиот клин со обработената површина од обработуваното парче.

Врз процесот на абење на режечкиот алат влијаат: релативно високите локални притисоци и високите температури, материјалот на обработуваното парче, материјалот и геометријата на режечкиот алат, брзината, поместот и

длабочината на режење, статичката и динамичката крутост на обработниот систем, средството за ладење и подмачкување, и др.

Од истрошување на резниот алат се добива и некавалитетна површина. На Слика 2.2 се дадени резултатите од извршени испитувања за различни истрошувања на резната плочка [3].



**Figure 1.2** Surface finish deteriorates with tool wear. Turning AISI steel 52100 (65.5 HRC), with a PCBN tool (insert DNGA 150612, TiC binder), cutting speed  $v=140\text{ m/min}$ , feed  $f=0.08\text{ mm/rev}$ , depth of cut  $d_w=0.15\text{ mm}$ , tool nose radius  $r_n=1.2\text{ mm}$ , dry cutting

Слика 2.2: Рапавоста во зависност од абењето [3]

Figure 2.2: Roughness depending on wear [3]

Од материјалите за режење на челици со зголемена тврдина се бара да исполнат одредени карактеристики: механички (поголема цврстина, тврдина, жилавост), топлотни (повисока температура, отпорност на топлина), хемиски реакции (ниска склоност на дифузија, отпорност на температурен шок).

Со развојот на материјали за алат за режење денес практично е можно да се обработат тврди челици со стружење. Материјали кои ги исполнуваат бараните услови:

- Тврди метали со висока отпорност на абење и жилавост (ситнозрнест WC, како и тврди метали Cermet на база од TiC, TiN со средство за врзување Ni);
- Алатна керамика со подобрена жилавост, добра отпорност на абење (посебна мешана керамика -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$  и оксидна керамика армирана со влакна од силициум карбид -  $\text{Al}_2\text{O}_2 + \text{ZrO}_2 + \text{SiC}$ );

- Материјал на база кубен борнитрит - CBN, резни плочки со поликристална структура - PCBN, плочки од тврд метал со слој од поликристален кубен борнитрит. Постојат и други материјали во зависност од содржината CBN и сврзното средство како и од производителите - борозан, елбер, амборите, и сл.

Како превлаки се користат AlTiSiN, AlCrSiN.

Геометријата на резниот алат влијае на квалитетот на површината од работното парче.

Вршени се испитувања на геометријата на алатот при обработка на тврди челици со негативен агол  $\lambda$  и агол  $\gamma$  (кај квадратни резни плочки со ознака S,  $\gamma = -6^\circ$ ,  $\lambda = -6^\circ$ ,  $\alpha = 6^\circ$ ), со раб на предната површина веднаш до сечилото (задолжително кај керамичките резни плочки). Со зголемување на тврдината на обработуваниот материјал треба да се зголеми и негативната вредност на  $\lambda$  и задниот агол [25].

Од информациите добиени од литература и истражувањата презентирани во научни и стручни трудови, се добиваат одредени сознанија за обработка на челици со зголемена тврдина. Но, во оваа област сè уште се истражува и ќе се истражува, бидејќи има многу фактори кои влијаат на обработката со стружење на квалитетот на обработената површина

Фактори кои влијаат на рапавоста:

- Материјалот кој се обработува, неговиот хемиски состав, тврдина;
- Резниот алат, неговиот хемиски состав, тврдина, термичката обработка, слоеви на превлаки. Геометријата на резниот алат - изменливи плочки за режење;
- Режимот на обработка, брзина на стружење, помест, длабочина на стружење, радиус на врвот на резната плочка;

- Средства за ладење и подмачкување, нивното влијание на процесот на стружење;
- Сили на отпорот при стружење, кои влијаат на одредување на параметрите на режење;
- Оптимирање на процесот, од аспект на квалитетна обработка или оптимирање од економска оправданост;
- Машината за обработка, нејзината моќност и крутост;
- Начин на мерење, модели на истражување (математички, експериментални), и сл.

Заедничко за сите горенаведени литературни извори е тоа што предмет на истражување се само мал број параметри на рапавост, најчесто тоа се параметрите  $Ra$  и  $Rz$  ( $Rt$ ).

Исто така, значајно е овде да се наведе и тоа што еден профил на рапавост при приближно еднакви вредности за параметрите  $Ra$  и  $Rz$  може да има различни облици на профилите на рапавост и тој различно да се однесува во услови на експлоатација.

Токму горенаведеното ја дава научната оправданост на темата. Истражувањата кои ќе се реализираат во оваа докторска дисертација резултираат со истовремено добивање на математички модели за предвидување на параметрите  $Ra$ ,  $Rp$ ,  $Rv$ ,  $Rz$ ,  $Rsm$  и  $Rmr$  ( $50 \% Pt$ ), за еден ист профил на рапавост, што ќе претставува еден вид проширување и новина во однос на досега реализираните истражувања кои се однесуваат на обработките со стружење на материјали со зголемена тврдина. Многу корисно во насока на еднозначно опишување на профилот на рапавост е вклучувањето на параметрите  $Rp$  и  $Rv$ , параметри на рапавост кои се директно мерливи и поврзани со положбата на средната линија на профилот на рапавост. Положбата на средната линија на профилот на рапавост е во директна функција со обликот на профилот на рапавост.

### **3. НАУЧНОИСТРАЖУВАЧКИ ТЕЗИ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО**

Главната цел на истражувањето (во областа на обработка со стружење) е развој на математички модели за предвидување на повеќе параметри на рапавост истовремено, што ќе овозможи поточно опишување на профилот на рапавост на површини добиени при обработка со стружење на материјали со зголемена тврдина.

Емпириските резултати добиени со истражувањата се очекува да имаат практична применливост. Нивната примена во металопреработувачката индустрија може да создаде услови за оптимизација на процесите и стекнување економски придобивки од нивната примена.

Наведените цели и задачите на истражувањето се директно поврзани со научните тези:

- Методот Design of experiments (DOE), особено степенестиот облик на функција од прв ред, преку примена на четирифакторен план на експерименти со повторување во средната точка од истражуваниот хиперпростор, може со успех да се користи за математичко моделирање на повеќе параметри на рапавост истовремено;
- Истовременото математичко моделирање на повеќе параметри на рапавост овозможува еднозначно опишување на профилот на рапавост, додека пак вредноста на експонентите во математичките модели надолнето со проверката на адекватноста на експериментално добиените математичките модели овозможува да се констатира степенот на стабилност на процесот на обработка со стружење на материјали со зголемена тврдина.

Експерименталното добивање на математичките модели за параметрите на рапавост во степенест облик на функција од прв ред е главната цел која се

постигнува во рамките на докторската дисертација. За таа цел се реализирани следниве активности (задачи):

- *Тековен преглед на литературата и достигнувањата во областа на истражувањето:* Се наведува дека за пишување на пријавата на тема и за дефинирање на тезите, анализирани се поголем број литературни извори, но тој процес не престана и во текот на реализација на докторскиот труд;

- *Планирање на експерименталниот дел:* Оваа активност вклучува најпрвин избор на материјал кој ќе се користи при обработката со стружење. Се користи челик со ознака C 55 (DIN) кој термички е подобрен со цел да се постигне тврдина од  $52 \pm 2$  HRC. За обработка на назначениот материјал се користи и алат - керамички резачки плочки од мешана керамика MC 2 ( $Al_2O_3 + TiC$ ). Обработката со стружење се изведе со промена на четири независно променливи големини и тоа:  $v$  - брзина на режење,  $f$  - резачки помест,  $a$  - длабочина на режење и  $r_\epsilon$  - радиус на врвот на резачката плочка, со примена на четирифакторен потполн план на експерименти од прв ред ( $2^4 + 4$ ). Обработката со стружење се спроведе на конвенционален струг, додека за мерење на профилот на рапавост се користи професионален мерен уред и софтвер за таа намена;

- *Реализација на обработката (експериментите) согласно планираното:* Овој дел вклучува редоследна обработка на работните парчиња согласно четирифакторниот план на експерименти, како и мерење на профилот на рапавост и пресметка на разгледуваните параметри на рапавост;

- *Математичко моделирање:* За добивање на степенестиот облик на функција од прв ред за разгледуваните параметри на рапавост, користев софтвер CADEX (Computer Aided Design and Analysis of Experiments), специјализиран за таа намена. Се определува корелација на влезно-излезните информации (фактори) за:

- Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите;
- Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите;

- Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите, и
- Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите.

Разликата помеѓу измерена вредност и пресметковната вредност на истражуваната појава е прикажана преку грешката во (%). Точноста пак на математичките модели се дефинирана со 95 % - интервали на доверба. Во рамките на математичкото моделирање се дадени и: оцена на значајноста на влезните фактори (параметри) како и дисперзиона анализа за сите погоре споменати модели.

- *Табеларно и графичко прикажување на резултатите, нивна анализа.* Во овој дел се прикажани сите добиени резултати од експерименталниот дел во облик на табели и дијаграми (3-Д површини). Се спроведе детална анализа на истите.



## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИСТРАЖУВАЊА (УСЛОВИ И РЕЗУЛТАТИ)

### 4.1. ОБРАБОТУВАН МАТЕРИЈАЛ

Обработката со стружење се изведува на прстени, специјално изработени за оваа намена, од материјал челик за подобрување С 55 (DIN). Прстените дополнително се термички обработени на бараната тврдост  $52 \pm 2$  HRC. Димензиите на прстените се  $\Phi 102 \times \Phi 82 \times 20$  mm, Слика 4.1.1.

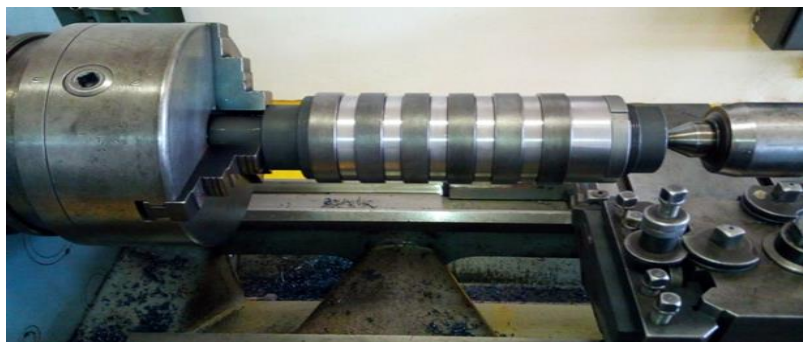
При обработката со стружење, прстените се поставуваат на помагало, специјално изработено за оваа намена, за истражување на рапавоста на површинскиот слој, со цел да се зголеми крутоста на прстените, Слика 4.2.2.

Во продолжение даден е атестот за обработуваниот материјал С 55 (DIN), Слика 4.1.3.




Слика 4.1.1: Прстени од материјал С 55 (DIN), со тврдост  $52 \pm 2$  HRC

Figure 4.1.1: Rings of material C 55 (DIN), hardness  $52 \pm 2$  HRC




Слика 4.1.2: Специјално помагало за истражување на карактеристиките на површинскиот слој при обработка со стружење, параметрите на рапавоста на обработената површина (во сопственост на Машински факултет во Скопје)

Figure 4.1.2: Special aid for researching the characteristics of the surface layer during processing by turning, the parameters of the roughness of the treated surface (owned by the Faculty of Mechanical Engineering in Skopje)


**"STOMANA INDUSTRY" S.A.**  
 1, Vladoysko Vastanie Str.  
 2304 Pernik, BULGARIA

Customer: АНГЕЛ СТОИЛОВ 96 АД  
 Consignee: АНГЕЛ СТОИЛОВ 96 АД  
 Product: HOT ROLLED ROUND BARS  
 Mediator Order:  
 Customer Reference:


 Management System  
 ISO 9001:2008  
 ISO 14001:2004  
 OHSAS 18001:2007  
 www.tuv.com  
 ID 316502048  
 Standard:

**INSPECTION CERTIFICATE №** 82622572  
 According to: EN10204/3.1  
 Date: 18.2.2018  
 Order № BGR07771  
 Dispatched in wagon/truck: 315254013016  
 SAP № 1409428

In	Heat/cast No	Deoxidation	Chemical composition %																Mechanical properties										Decarburization	Circogr. test	US test	
			C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	As	Al	V	Ti	Nb	B	N	Ceq	Temp	Yield	Tensile	Elong	Shrink	Impact	Cond.	Diam.	Quenching	Tempering				Depth
1	73485		0.450	0.610	0.230	0.008	0.007	0.080	0.080	0.210	0.011	0.018	0.034	0.003	0.040	0.000	0.009	0.590														
2	73514		0.450	0.610	0.210	0.013	0.021	0.090	0.080	0.240	0.011	0.014	0.030	0.003	0.026	0.000	0.009	0.594														
3	71310		0.170	1.310	0.240	0.014	0.014	0.090	0.100	0.220	0.018	0.021	0.047	0.086	0.000	0.000	0.010	0.449														

No	diam. mm	grade	Length mm	Heat/cast No	Batch No	Number of bars	Weight /kg	Tensile		Yield point	Elong	Shrink	Temp	KV or KCU	J <sub>u</sub> K	J <sub>u</sub> J	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	Cond. 2.3.4.5.6	Diam. mm	Quenching °C	Tempering °C	Depth	Class	US test
								MPa	MPa																	
1	32	C45E	6.000.00	73485	A	5	11.334	620	442	24.0																
2	32	C45E	6.000.00	73514	A	3	7.373	650	446	26.0																
3	105	C55	6.300.00	71310	B	9/5	19.570	564	428	28.0		-20	KV	113.7	117		119	105								
						17	38.277																			


No	diam. mm	Heat/cast No	Hardenability																Incl. Meth.	Grain size	Hardness		Band in cold	Reduct. Ratio							
			H1	H2	J <sub>1.8</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>8</sub>	J <sub>9</sub>	J <sub>10</sub>	J <sub>11</sub>	J <sub>12</sub>	J <sub>13</sub>	J <sub>14</sub>			J <sub>15</sub>	J <sub>16</sub>			J <sub>17</sub>	J <sub>18</sub>	HB	Cond.	Temp.		
1	32	73485																													
2	32	73514																													
3	105	71310																													


1. Manufacturing Method Steel EAF-LF-CC with EMS and Air Mist  
 2. Q - quenching /hardening/ 4. QT - quenching and tempering 6. HR - hot rolling  
 3. N - normalizing 5. SA - soft annealing /tempering

We hereby certify that the above mentioned steel (heat number) has been tested and proved to be free of radioactivity  
 We hereby certify that the above mentioned steel has been delivered to you in compliance with your purchase order

Chief department TECHNICAL CONTROL  
 STOMANA INDUSTRY SA

Technical control:  
 Rolled shop BACHVAROVA CE-mark concerns only EN 10025/2004 - Certificate No0035 CPR A191


 0035-CPR-A 191


 Page 1 of 1

Слика 4.1.3: Атест за хемискиот состав на материјалот C55  
 Figura 4.1.3: Certificate for the chemical composition of the material C55

Условите за термичка обработка на доставените прстени од материјал C55 (DIN) или C1630 се избрани со цел прстените да бидат на што е можно поголема тврдина во интервалот 50-60 HRc.

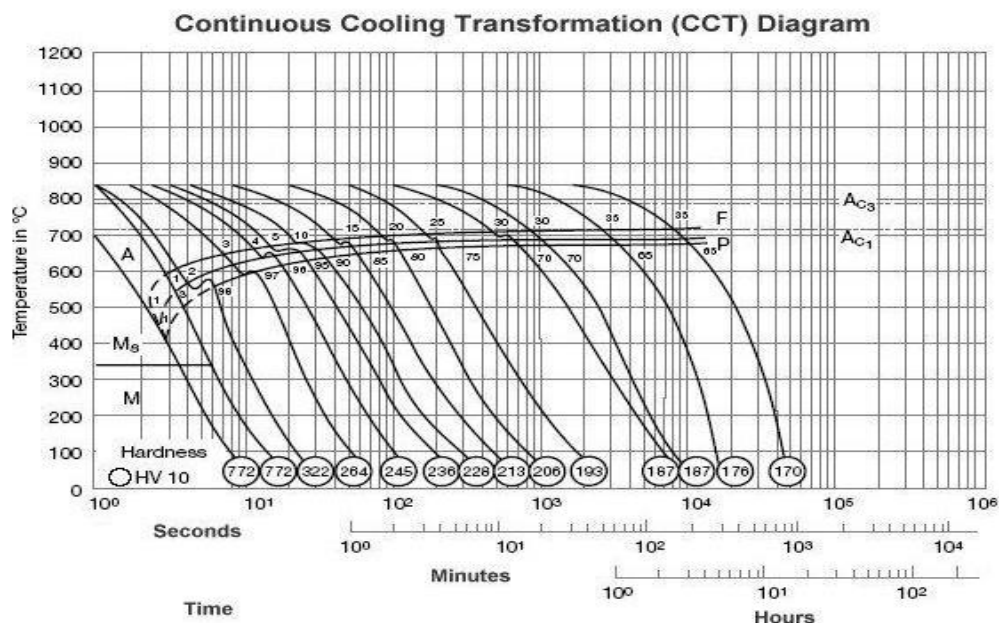
Затоа, термичката обработка на прстените е реализирана согласно следниве чекори:

- Предгревање на температура 400°C во траење од 1 час;
- Загревање до температура на аустенизација 840°C и задржување во времетраење од 50 минути.

Загревањето и аустенизацијата е во атмосфера која е ендотермна и пресметан јаглероден потенцијал согласно хемискиот состав на материјалот.

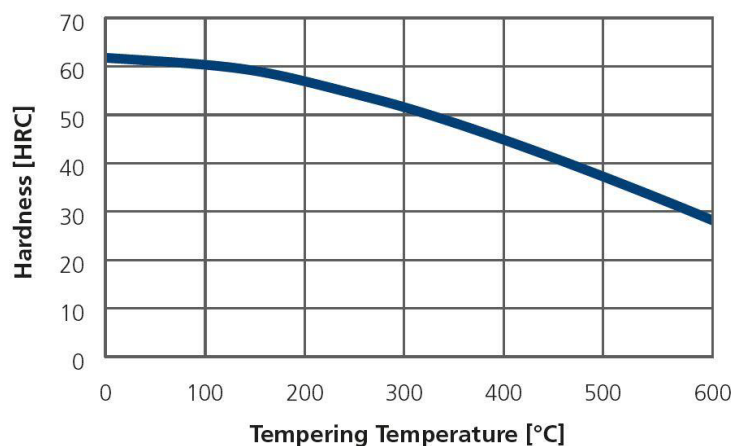
- Калењето се изведува во средство за ладење (вода + додатоци за зголемување на брзината на ладење), со цел да се постигне поголема тврдина кај деловите, согласно дијаграмот на Слика 4.1.4.

Температурата за опуштање на добиените структури е така избрана, согласно дијаграмот на Слика 4.1.5, со цел да се постигне бараната тврдина.



Слика 4.1.4: Дијаграм за трансформација на континуирано ладење  
Figure 4.1.4: Diagram for transformation to continuous cooling

#### Tempering response



Слика 4.1.5: Дијаграм на опуштање на материјалот  
Figure 4.1.5: Release diagram on the material

## 4.2. РЕЗАЧКИ АЛАТ (ДРЖАЧ И ПЛОЧКИ)

4.2.1. Држач за резачки плочки (во сопственост на Машински факултет во Скопје)

За обработката со стружење се применуваат држачи за резачки плочки CSNRN 25x25 M12H3 од фирмата HERTEL, Слика 4.2.1.



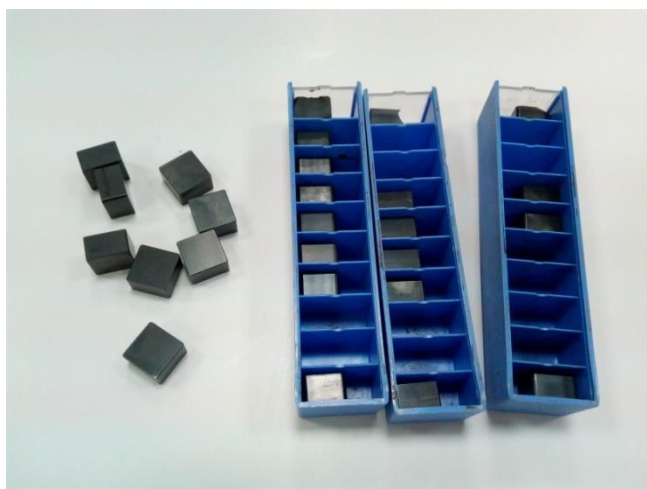
Слика 4.2.1: Изглед на држач за резачки плочки CSNRN 25x25 M12H3 од фирмата HERTEL (во сопственост на Машински факултет Скопје)

Figure 4.2.1: Appearance of cutting board holder CSNRN 25x25 M12H3 from the company HERTEL, (owned by the Faculty of Mechanical Engineering in Skopje)

#### 4.2.2. Резачки плочки

Обработката со стружење се изведува со примена на резачки плочки SNGN 120708-120712-120716 од мешана керамика MC 2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ) од фирмата HERTEL, Слика 4.2.2.

При обработката со стружење се применува следната статичка геометрија:  $\kappa=75^\circ$ ;  $\kappa_1=15^\circ$ ;  $\gamma = -6^\circ$ ;  $\alpha = 6^\circ$ ;  $\lambda = -6^\circ$ ;  $r_\epsilon = 0.8-1.2-1.6 \text{ mm}$ ;  $\gamma_f = -20^\circ$ ;  $b_f = 0.2 \text{ mm}$ .



Слика 4.2.2: Изглед на резачки плочки SNGN 120708-120712-120716 од мешана керамика MC 2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ) од фирмата HERTEL

Figure 4.2.2: Appearance of cutting plates SNGN 120708-120712-120716 from mixed ceramics MC 2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ) from the company HERTEL

### 4.3. ПАРАМЕТРИ НА ОБРАБОТКА И МЕТАЛОРЕЗАЧКА МАШИНА

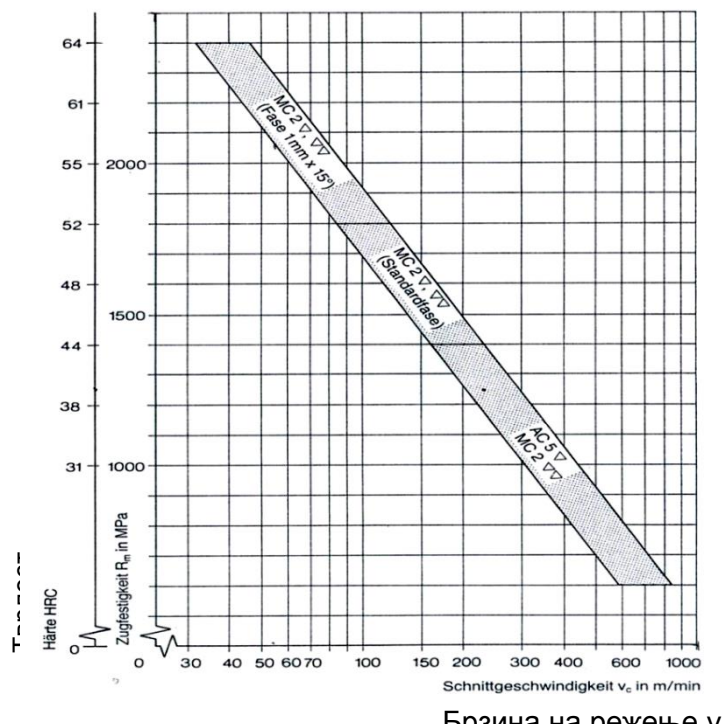
#### 4.3.1. Основни параметри на обработка

Обработката со стружење се изведува со промена на четири независно променливи големина и тоа:  $v$  - брзина на режење,  $f$  - резачки помест,  $a$  - длабочина на режење и  $r_\epsilon$  - радиус на врвот на резачката плочка, со примена на четирифакторен потполн план на експерименти од прв ред ( $2^4 + 4$ ).

Промената на независно променливите големина е претставена во Табела 4.3.1.

Табела 4.3.1: Карактеристики на независно променливите големина  
Table 4.3.1: Characteristics of independently variable sizes

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕЗАВИСНО ПРОМЕНЛИВИТЕ ГОЛЕМИНИ					
Број	Означување	Ниво	Максимално	Средно	Минимално
		Код	1	0	-1
1.	$v$ (m/min.)	X 1	133.00	94.00	67.00
2.	$f$ (mm/vrt.)	X 2	0.315	0.177	0.1
3.	$a$ (mm)	X 3	0.8	0.56	0.4
4.	$r_\epsilon$ (mm)	X 4	1.6	1.13	0.8



Слика 4.3.1: Избор на брзината на режење за обработуван материјал C55 (DIN) со тврдост  $52 \pm 2$  HRC и резачки плочки од мешана керамика MC 2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ )

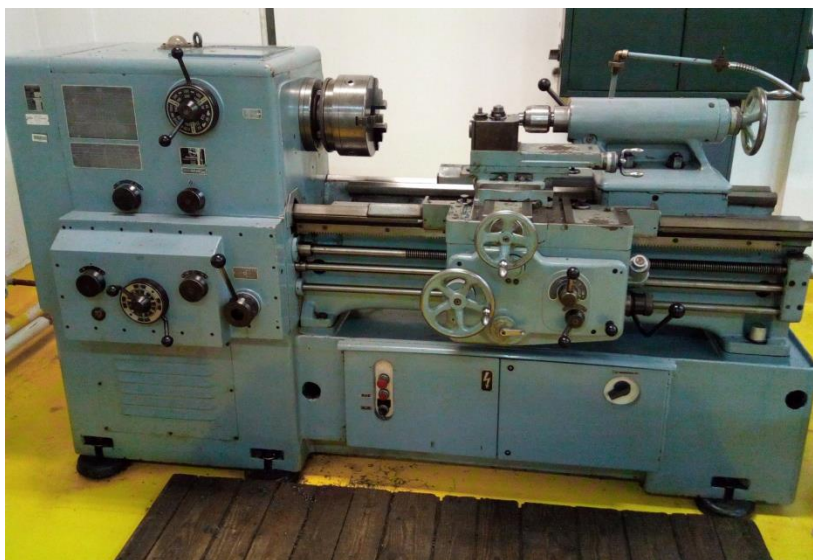


согласно препораките од фирмата HERTEL

Figure 4.3.1: Selection of cutting speed for processed material C55 (DIN) with hardness  $52 \pm 2$  HRC and cutting plates made of mixed ceramic MC 2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ) according to the recommendations from the company HERTEL

#### **4.3.2. Металорезачка машина (во сопственост на Машински факултет во Скопје)**

Обработка со стружење се изведува на конвенционален струг модел TVP 250 од фирмата Првوماјска, Слика 6, со силина  $P = 11.2$  (Kw), со следните броеви на вртежите 16; 22,4; 31,5; 45; 63; 90; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600 и 2240 (врт./мин.), и со помести на режење 0.025; 0.028; 0.032; 0.036; 0.04; 0.045; 0.05; 0.063; 0.071; 0.08; 0.09; 0.1; 0.112; 0.125; 0.14; 0.16; 0.18; 0.2; 0.224; 0.25; 0.28; 0.315; 0.355; 0.4; 0.45; 0.5; 0.56; 0.63; 0.71; 0.8; 0.9; 1; 1.12 (мм/врт.).



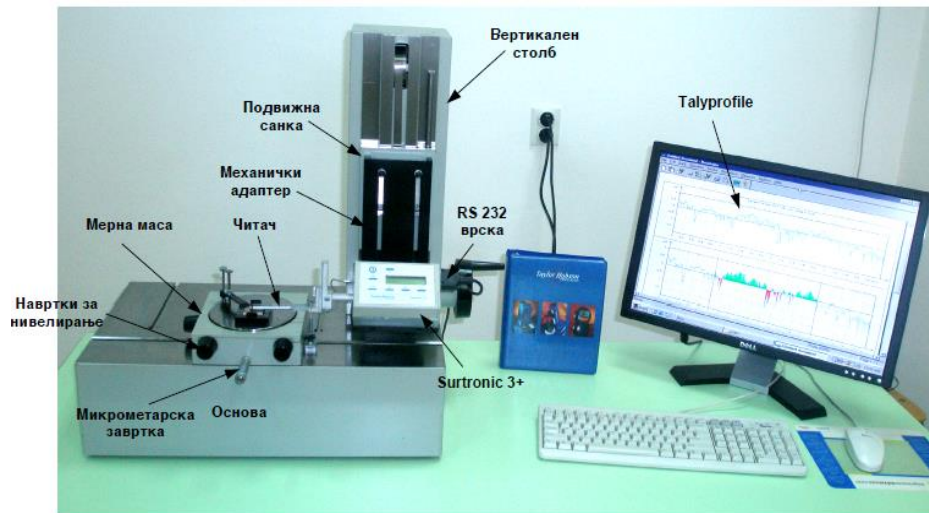
Слика 4.3.2: Изглед на конвенционален струг модел TVP 250 од фирмата Првوماјска (во сопственост на Машински факултет Скопје)

Figure 4.3.2: Appearance of a conventional lathe model TVP 250 from the company Prvomajka (owned by the Faculty of Mechanical Engineering in Skopje)

#### **4.4. МЕРЕН УРЕД**

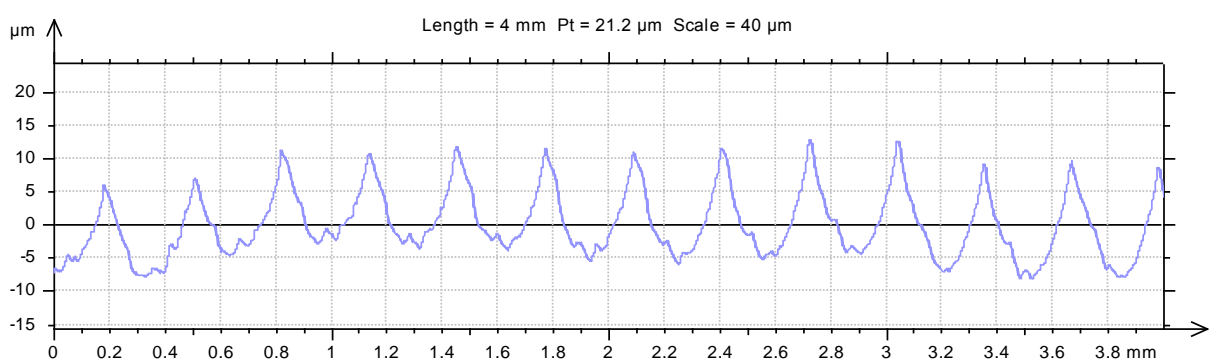
Мерењето на параметрите на рапавоста на обработената површина добиена при обработка со стружење се изведува со примена на компјутеризиран мерен уред, модел Surtronic 3+, од фирмата Taylor Hobson, прикажан на Слика 4.4.1, согласно препораките во меѓународните стандарди.

Обработката на профилите на рапавост, Слика 4.4.2., и пресметката на параметрите на рапавост, Слика 4.4.3, се изведува со софтверот Talyprofile.



Слика 4.4.1: Работно место за истражување на геометриските карактеристики (брановидност и рапавост) на површинскиот слој со користење на компјутеризирани мерен уред модел Surtronic 3+ од фирмата Taylor Hobson и софтвер Talyprofile за обработка на профилите (во сопственост на Машински факултет во Скопје)

Figure 4.4.1: Workplace for research of the geometric characteristics (wave and roughness) of the surface layer using a computerized measuring device model Surtronic 3+ from the company Taylor Hobson and Talyprofile software for processing the profiles (owned by the Faculty of Mechanical Engineering in Skopje)



Слика 4.4.2: Профил на рапавост  
Figure 4.4.2: Roughness profile

\* Parameters calculated by mean of the first 5 sampling lengthes.

\* A microroughness filtering is used, with a ratio of 2.5  $\mu\text{m}$ .

Roughness Parameters, Gaussian filter, 0.8 mm

Ra = 3.54  $\mu\text{m}$   
Rp = 10  $\mu\text{m}$   
Rv = 5.2  $\mu\text{m}$   
Rz = 15.2  $\mu\text{m}$   
RSm = 0.294 mm  
Rmr = 0.9 %

Слика 4.4.3. Параметри на рапавоста  
Figure 4.4.3. Roughness parameters

#### 4.5. РЕДОСЛЕД НА ИЗВЕДУВАЊЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТИТЕ (ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МАТРИЦА)

Експериментите се изведени согласно четирифакторен план (декодирен) на експерименти од прв ред кој што е прикажан во Табелата 4.5.1, односно четирифакторен план (кодирен) на експерименти од прв ред кој што е прикажан во Табелата 4.5.2.

Табела 4.5.1: Четирифакторен план (декодирен) на експерименти од прв ред  
Table 4.5.1: Four factor plan (decodet) of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД					
Ред. број	Реална план матрица – независно променливи големини				Параметар на рапавост
	$v$ (m/min.)	$f$ (mm/vr.)	$a$ (mm)	$r_{\varepsilon}$ (mm)	Ra, Rz, Rp,Rv, RSm, Rmr(c) ( $\mu\text{m}$ )(%)
1.	67,00	0,1	0,4	0,8	
2.	133,00	0,1	0,4	0,8	
3.	67,00	0,315	0,4	0,8	
4.	133,00	0,315	0,4	0,8	
5.	67,00	0,1	0,8	0,8	
6.	133,00	0,1	0,8	0,8	
7.	67,00	0,315	0,8	0,8	
8.	133,00	0,15	0,8	0,8	
9.	67,00	0,1	0,4	1,6	
10.	133,00	0,1	0,4	1,6	
11.	67,00	0,315	0,4	1,6	
12.	133,00	0,315	0,4	1,6	
13.	67,00	0,1	0,8	1,6	
14.	133,00	0,1	0,8	1,6	
15.	67,00	0,315	0,8	1,6	
16.	133,00	0,315	0,8	1,6	
17.	94,00	0,77 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	
18.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	
19.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	
20.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	

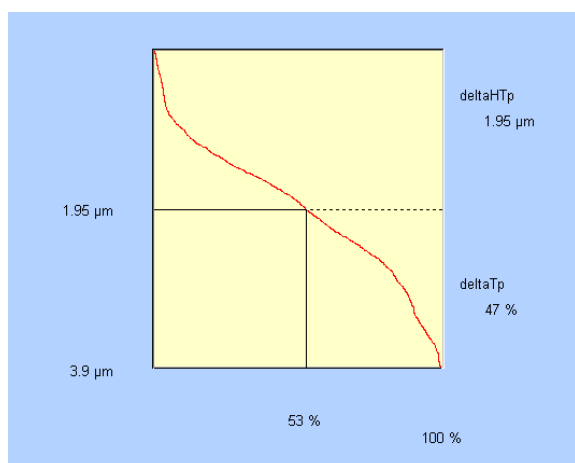
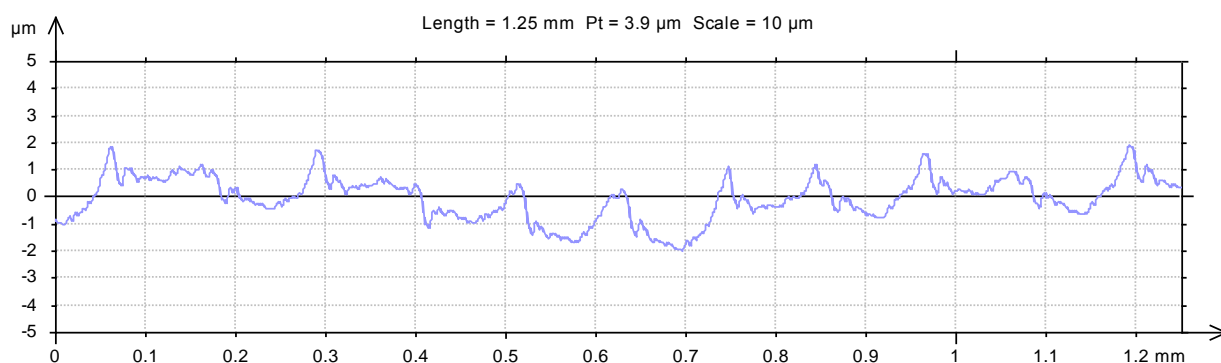


Табела 4.5.2: Четирифакторен план (кодирен) на експерименти од прв ред  
Table 4.5.2: Four factor plan (codet) of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД						
Ред. број	Кодирана план матрица					<i>Ra, Rz, Rp, Rv, RSm, Rmr(c) (um)(%)</i>
	<i>X 0</i>	<i>X 1</i>	<i>X 2</i>	<i>X 3</i>	<i>X 4</i>	
1.	1	-1	-1	-1	-1	
2.	1	1	-1	-1	-1	
3.	1	-1	1	-1	-1	
4.	1	1	1	-1	-1	
5.	1	-1	-1	1	-1	
6.	1	1	-1	1	-1	
7.	1	-1	1	1	-1	
8.	1	1	1	1	-1	
9.	1	-1	-1	-1	1	
10.	1	1	-1	-1	1	
11.	1	-1	1	-1	1	
12.	1	1	1	-1	1	
13.	1	-1	-1	1	1	
14.	1	1	-1	1	1	
15.	1	-1	1	1	1	
16.	1	1	1	1	1	
17.	1	0	0	0	0	
18.	1	0	0	0	0	
19.	1	0	0	0	0	
20.	1	0	0	0	0	

#### 4.6 РЕЗУЛТАТИ

На секој обработуван прстен направени се по три мерења. Во продолжение се прикажани: профилот на рапавост, вредностите за параметрите  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_{Sm}$  и графичка интерпретација на параметарот  $R_{mr}(c)$  за обработуваниот прстен со реден број еден. Останатите резултати се прикажани во Прилогот на дисертацијата.



Parameters calculated on the profile

**1-1**

$R_a = 0,492 \mu\text{m}$

$R_p = 1,72 \mu\text{m}$

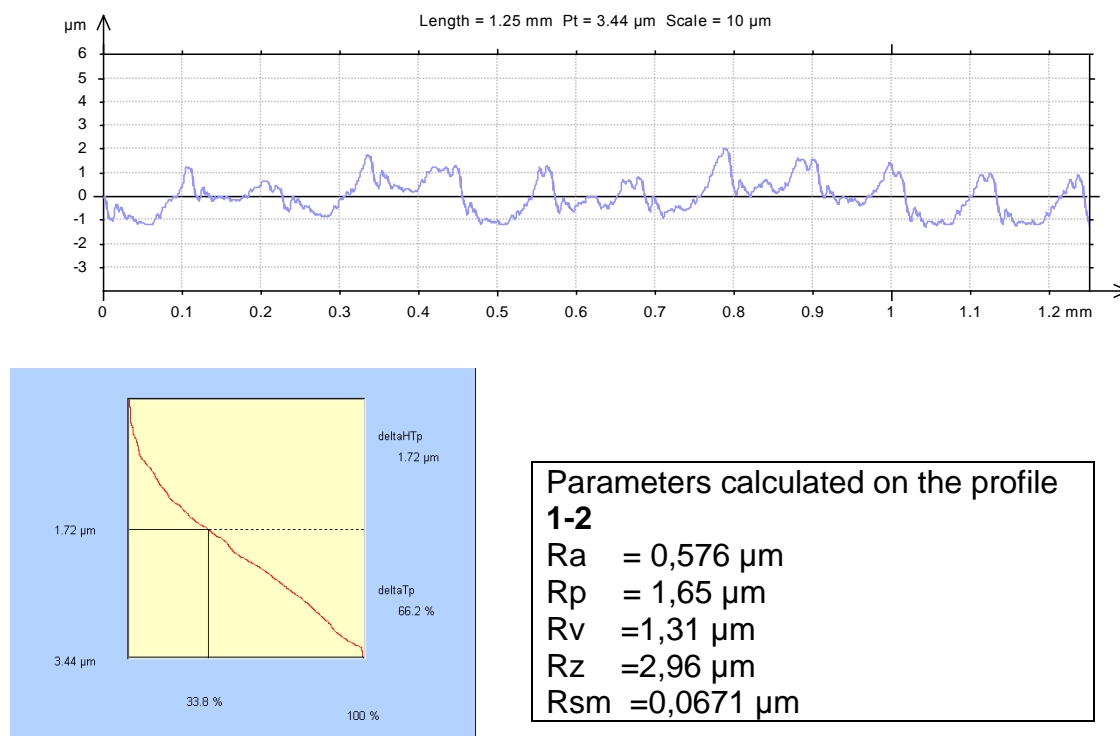
$R_v = 1,116 \mu\text{m}$

$R_z = 2,88 \mu\text{m}$

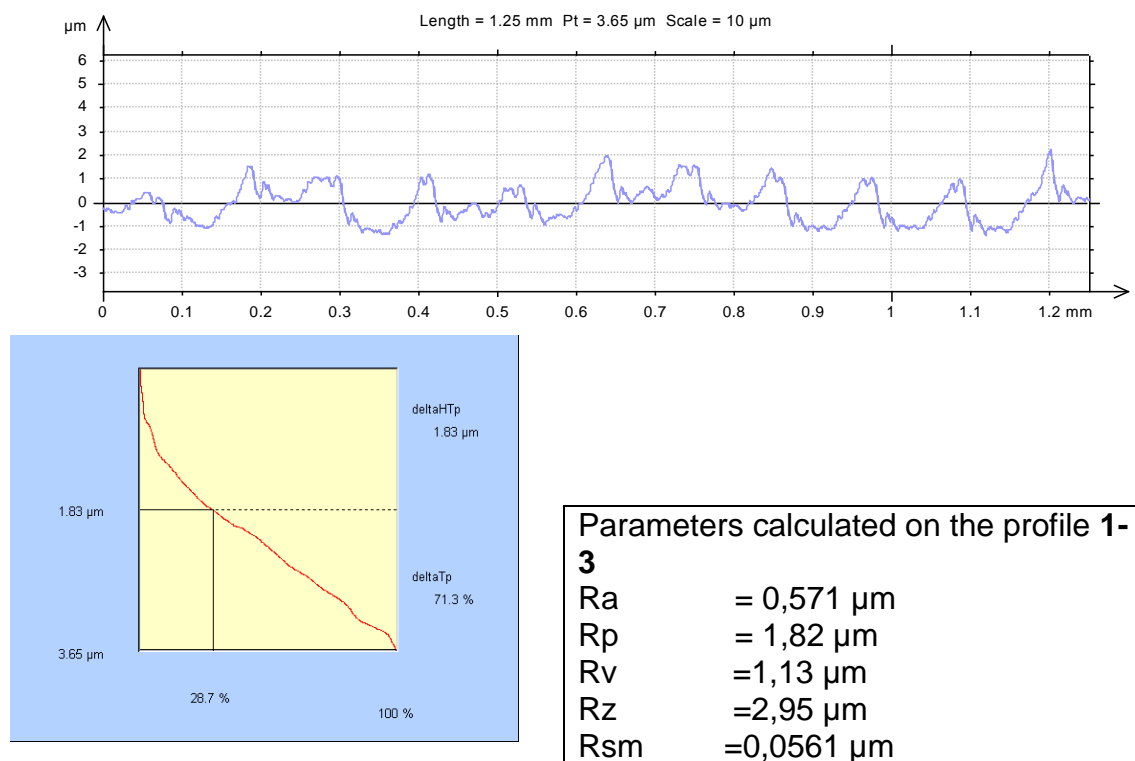
$R_{sm} = 0,104 \mu\text{m}$

Слика 4.6.1.1: Измерен профил за рапавост за експеримент 1-1, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt.);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

Figure 4.6 1.1: Measured roughness profile for Experiment 1-1, obtained at  $v = 67$  (m / min);  $f = 0,1$  (mm / vrt.);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



Слика 4.6 1.2: Измерен профил за рапавост за експеримент 1-2,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)  
 Figure 4.6 1.2: Measured roughness profile for experiment 1-2,  $v = 67$  (m / min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



Слика 4.6.1.3: Измерен профил за рапавост за експеримент 1-3,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)  
 Figure 4.6.1.3: Measured roughness profile for experiment 1-3,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

#### 4.6.2. Средни вредности на параметрите на рапавост добиени од измерени три вредности за рапавоста

Табела 4.6.2: Средни вредности на рапавоста

Table 4.6.2: Medium values of roughness

Ред. бр. во матрица (Табела 4.5.1, Табела 4.5.2)	<i>Ra</i>	<i>Rp</i>	<i>Rv</i>	<i>Rz</i>	<i>RSm</i>	<i>Rmr(50%)</i>
1	0,492	1,72	1,16	2,88	0,104	53
	0,576	1,65	1,31	2,96	0,0671	33,8
	0,571	1,82	1,13	2,95	0,0561	28,7
	0,546	1,730	1,200	2,930	0,076	38,50
2	0,506	1,89	1,13	3,02	0,103	35,4
	0,504	1,73	1,14	2,87	0,0548	27,7
	0,533	1,83	1,19	3,02	0,093	27,3
	0,514	1,817	1,153	2,970	0,084	30,13
3	3,31	10,2	4,53	14,7	0,292	25,9
	3,44	11,2	5,08	16,3	0,292	26,6
	3,31	9,6	4,56	14,2	0,297	25,1
	3,353	10,333	4,723	15,067	0,294	25,87
4	3,26	9,82	5,31	15,1	0,305	29,5
	3,12	9,59	4,42	14	0,296	28,6
	3,17	9,65	4,22	13,9	0,298	25,9
	3,183	9,687	4,650	14,333	0,300	28,00
5	0,595	2,25	1,49	3,74	0,0468	24,6
	0,582	2,34	1,32	3,66	0,0594	22,6
	0,551	1,96	1,51	3,47	0,0533	22,2
	0,576	2,183	1,440	3,623	0,053	23,13
6	0,549	1,34	1,59	2,93	0,0596	59,7
	0,545	1,49	1,18	2,67	0,0725	40,3
	0,532	1,25	1,41	2,66	0,0879	53,1
	0,542	1,360	1,393	2,753	0,073	51,03
7	3,54	10	5,2	15,2	0,294	30,6
	3,56	10,1	5,37	15,4	0,305	27
	3,59	10,3	5,59	15,9	0,291	29,5
	3,563	10,133	5,387	15,500	0,297	29,03
8	3,27	10,2	3,87	14,1	0,298	24,5
	3,46	10,3	4,97	15,3	0,301	28,2
	3,37	9,44	4,39	13,8	0,305	32
	3,367	9,980	4,410	14,400	0,301	28,23
9	0,273	1,12	0,83	1,95	0,0509	28,9
	0,299	1,25	0,88	2,13	0,0427	37,9
	0,255	1,32	0,82	2,14	0,0346	33,7
	0,276	1,230	0,843	2,073	0,043	33,50
10	0,248	0,81	0,78	1,59	0,0389	59,3
	0,253	0,668	0,736	1,4	0,0378	52
	0,255	0,663	0,678	1,34	0,039	48,3
	0,252	0,714	0,731	1,443	0,039	53,20

Табела 4.6.2: Средни вредности на рапавоста  
Table 4.6.2: Medium values of roughness

Ред. бр. во матрица (Табела 4.5.1, Табела 4.5.2)	<i>Ra</i>	<i>Rp</i>	<i>Rv</i>	<i>Rz</i>	<i>RSm</i>	<i>Rmr(50%)</i>
11	1,63	3,55	2,7	6,25	0,283	44,3
	1,7	4,6	2,53	7,13	0,278	28,4
	1,74	4,79	3,1	7,9	0,226	36,4
	1,690	4,313	2,777	7,093	0,262	36,37
12	1,59	4,16	2,49	6,66	0,296	36,7
	1,62	3,56	2,75	6,31	0,31	42,7
	1,57	3,71	2,5	6,21	0,297	40,9
	1,593	3,810	2,580	6,393	0,301	40,10
13	0,282	0,81	0,79	1,6	0,051	34,7
	0,28	1,1	0,79	1,89	0,0462	48,1
	0,294	1,04	0,77	1,81	0,037	34,7
	0,285	0,983	0,783	1,767	0,045	39,17
14	0,27	0,98	0,96	1,94	0,0342	54,9
	0,253	0,94	0,84	1,78	0,0399	45,6
	0,29	1,08	0,81	1,89	0,0366	34,3
	0,271	1,000	0,870	1,870	0,037	44,93
15	1,79	4,32	2,78	7,1	0,291	32,8
	1,81	5,66	3,2	8,86	0,281	25,8
	1,81	4,67	2,53	7,2	0,3	31,7
	1,803	4,883	2,837	7,720	0,291	30,10
16	1,77	5,01	3,3	8,31	0,207	39,9
	1,68	5,15	3,12	8,27	0,261	30,3
	1,68	5,21	3,29	8,5	0,219	32,8
	1,710	5,123	3,237	8,360	0,229	34,33
17	0,809	3,72	1,91	5,63	0,158	26,5
	0,85	3,56	1,58	5,14	0,158	22,8
	0,883	3,32	1,78	5,1	0,156	28,6
	0,847	3,533	1,757	5,290	0,157	25,97
18	1,09	3,96	1,82	5,78	0,198	24,2
	1,03	3,58	1,95	5,53	0,198	23,4
	0,872	3,71	1,75	5,46	0,185	24,25
	0,997	3,750	1,840	5,590	0,194	23,95
19	0,88	3,34	1,85	5,19	0,175	22,7
	1,03	3,43	2,06	5,48	0,198	33,4
	0,885	3,49	1,68	5,17	0,161	16,8
	0,932	3,420	1,863	5,280	0,178	24,30
20	0,899	3,32	1,43	4,75	0,19	19,8
	0,881	3	1,45	4,45	0,19	18,8
	0,873	3,1	1,45	4,56	0,194	21,2
	0,884	3,140	1,443	4,587	0,191	19,93

## **5. МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА РАПАВОСТА ВО ПРОЦЕСОТ НА РЕЖЕЊЕ ПРИ ОБРАБОТКА СО СТРУЖЕЊЕ**

### **5.1. ОБРАБОТКА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОД ИЗВЕДЕНИТЕ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕРЕЊА**

Математичкото моделирање на параметрите на рапавоста во процесот на режење при обработка со стружење се реализира со примена на степенест облик на функцијата и четирифакторен потполн план на експерименти од прв ред ( $2^4 + 4$ ).

Обработката на резултатите од изведените експериментални истражувања се реализира со примена на компјутерскиот софтвер CADEX (Computer Aided Design and analysis of Experiments).

Во процесот на математичкото моделирање опфатени се следните етапи:

1. Избор на план матрица за реализација на експериментите. Во нашиот случај, согласно усвоениот степенест облик на функцијата со која се опишува истражуваната појава, параметрите на рапавоста, во процесот на режење, се избира четирифакторен план на експерименти од прв ред, со повторување во средната точка од истражуваниот хиперпростор.

Реалната план матрица е претставена во Табела 5.1.1.2, 5.2.1.2, 5.3.1.2, 5.4.1.2, 5.5.1.2, 5.6.1.2., а кодираната план матрица во Табела 5.1.1.3, 5.2.1.3..., 5.3.1.3, 5.4.1.3, 5.5.1.3, 5.6.1.3.

2. Определување на корелацијата помеѓу влезните и излезните информации за:

- Математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.4, 5.2.1.4, 5.3.1.4, 5.4.1.4, 5.5.1.4, 5.6.1.4;
- Математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.5, 5.2.1.5..., 5.3.1.5, 5.4.1.5, 5.5.1.5, 5.6.1.5;
- Математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.6, 5.2.1.6, 5.3.1.6, 5.4.1.6, 5.5.1.6, 5.6.1.6;

- Математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.7, 5.2.1.7, 5.3.1.7, 5.4.1.7, 5.5.1.7, 5.6.1.7.

Разликата помеѓу измерената вредност на параметрите на рапавоста во процесот на режење при обработка со стружење и пресметковната вредност на истражуваната појава се прикажува преку грешката во (%).

Точноста, пак, на математичките модели е дефинирана со 95 % - интервали на доверба.

### 3. Оцена на значајноста на факторите $b(i)$ во:

- Математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.8, 5.2.1.8, 5.3.1.8, 5.4.1.8, 5.5.1.8, 5.6.1.8;
- Математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.9, 5.2.1.9, 5.3.1.9, 5.4.1.9, 5.5.1.9, 5.6.1.9;
- Математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.10, 5.2.1.10, 5.3.1.10, 5.4.1.10, 5.5.1.10, 5.6.1.10;
- Математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.11, 5.2.1.11, 5.3.1.11, 5.4.1.11, 5.5.1.11, 5.6.1.11.

### 4. Дисперзиона анализа на:

- Математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.12, 5.2.1.12, 5.3.1.12, 5.4.1.12, 5.5.1.12, 5.6.1.12;
- Математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.13, 5.2.1.13, 5.3.1.13, 5.4.1.13, 5.5.1.13, 5.6.1.13;

- Математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.14, 5.2.1.14, 5.3.1.14, 5.4.1.14, 5.5.1.14, 5.6.1.14;
- Математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , Табела 5.1.1.15, 5.2.1.15, 5.3.1.15, 5.4.1.15, 5.5.1.15, 5.6.1.15.

5. Изборот на математичкиот модел се определува врз основа на анализа на карактеристиките на моделот дадени во Табела 5.1.1.16, како:

- Бројот на членови во полиномот;
- Пресметковниот и табличниот коефициент на адекватност на моделот;
- Оцената на адекватноста на моделот, резидуалната сума, грешката од експериментот, и
- Коефициентот на повеќекратна регресија.

Во продолжение се дадени сите резултати кои што се однесуваат на точките 1-5 за параметарот  $R_a$ . Резултатите за останатите параметри се дадени во Прилогот на дисертацијата.

### 5.1.1. Истражување на Параметарот $R_a$

Табела 5.1.1.1: Карактеристики на независно променливите големини  
Table 5.1.1.1: Characteristics of independent variable sizes

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕЗАВИСНО ПРОМЕНЛИВИТЕ ГОЛЕМИНИ					
Број	Означување	Ниво	Максимално	Средно	Минимално
		Код	1	0	-1
1.	$v$ (mm/min.)	X 1	133,00	94,398	67,00
2.	$f$ (mm/vrt.)	X 2	0,315	0,177	0,1
3.	$a$ (mm)	X 3	0,8	0,566	0,4
4.	$r_\varepsilon$ (mm)	X 4	1,6	1,131	0,8



Табела 5.1.1.2: Четирифакторен план на експерименти од прв ред

Table 5.1.1.2: Four factor plan of first order experiments

<b>ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД</b>					
Ред. број	Реална план матрица – независно променливи големини				Измерена вредност
	v (m/min.)	f (mm/vr.)	a (mm)	r <sub>e</sub> (mm)	Ra (um)
1.	67,00	0.1	0,4	0,8	0,546
2.	133,00	0,1	0,4	0,8	0,514
3.	67,00	0,315	0,4	0,8	3,353
4.	133,00	0.315	0,4	0,8	3,183
5.	67.00	0,1	0,8	0,8	0,576
6.	133.00	0.1	0,8	0,8	0,542
7.	67.00	0.315	0,8	0,8	3,563
8.	133,00	0,315	0,8	0,8	3,367
9.	67,00	0,1	0,4	1,6	0.276
10.	133,00	0,1	0,4	1,6	0,252
11.	67,00	0,315	0,4	1,6	1,690
12.	133,.00	0,315	0,4	1,6	1,593
13.	67,00	0,1	0,8	1,6	0,285
14.	133,00	0,1	0,8	1,6	0,271
15.	67,.00	0,315	0,8	1,6	1,803
16.	133,00	0,315	0,8	1,6	1.710
17.	94.00	0,177 (0.18)	0,566	1,13 (1,2)	0,847
18.	94,00	0,177 (0.18)	0,566	1,13 (1,2)	0,997
19.	94,00	0,177 (0.18)	0,566	1,13 (1,2)	0,932
20.	94,00	0,177 (0.18)	0,566	1,13 (1,,2)	0,884

Табела 5.1.1.3: Четирифакторен план на експерименти од прв ред  
Table 5.1.1.3: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД						
Ред. број	Кодирана план матрица					Измерена вредност
	X 0	X 1	X 2	X 3	X 4	Ra (um)
1.	1	-1	-1	-1	-1	0,546
2.	1	1	-1	-1	-1	0,514
3.	1	-1	1	-1	-1	3,353
4.	1	1	1	-1	-1	3,183
5.	1	-1	-1	1	-1	0,576
6.	1	1	-1	1	-1	0,542
7.	1	-1	1	1	-1	3,563
8.	1	1	1	1	-1	3,367
9.	1	-1	-1	-1	1	0,276
10.	1	1	-1	-1	1	0,252
11.	1	-1	1	-1	1	1,690
12.	1	1	1	-1	1	1,,593
13.	1	-1	-1	1	1	0,285
14.	1	1	-1	1	1	0,271
15.	1	-1	1	1	1	1,803
16.	1	1	1	1	1	1,710
17.	1	0	0	0	0	0,847
18.	1	0	0	0	0	0,997
19.	1	0	0	0	0	0,932
20.	1	0	0	0	0	0,884

Табела 5.1.1.4: Корелација на влезно-излезните информации  
Table 5.1.1.4: Correlation of input-output information

КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$				
Ред. број	Измерена вредност $Ra (\mu m)$	Пресметковна вредност $Ra (\mu m)$	Грешка во (%)	95 % - Интервал на доверба
1.	0,546	0,538	1,520	0,514 - 0,563
2.	0,514	0,506	1,521	0,484 - 0,530
3.	3,353	3,348	0,156	3,198 - 3,504
4.	3,183	3,152	0,989	3,011 - 3,299
5.	0,576	0,570	1,077	0,544 - 0,596
6.	0,542	0,536	1,034	0,512 - 0,561
7.	3,563	3,548	0,432	3,389 - 3,713
8.	3,367	3,340	0,812	3,191 - 3,496
9.	0,276	0,269	2,378	0,257 - 0,282
10.	0,252	0,254	-0,651	0,242 - 0,265
11.	1,690	1,678	0,738	1,603 - 1,756
12.	1,593	1,579	0,867	1,509 - 1,653
13.	0,285	0,286	-0,182	0,273 - 0,299
14.	0,271	0,269	0,818	0,257 - 0,281
15.	1,803	1,778	1,405	1,698 - 1,861
16.	1,710	1,673	2,137	1,599 - 1,752
17.	0,847	0,949	-11,994	0,931 - 0,966
18.	0,997	0,949	4,856	0,931 - 0,966
19.	0,932	0,949	-1,780	0,931 - 0,966
20.	0,884	0,949	-7,307	0,931 - 0,966

Табела 5.1.1.5: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1.1.5: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност <i>Ra</i> (um)</b>	<b>Пресметковна вредност <i>Ra</i> (um)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	0,546	0,537	1,639	0,512 - 0,564
2.	0,514	0,537	-4,484	0,512 - 0,564
3.	3,353	3,344	0,277	3,186 - 3,509
4.	3,183	3,344	-5,049	3,186 - 3,509
5.	0,576	0,537	6,762	0,512 - 0,564
6.	0,542	0,537	0,913	0,512 - 0,564
7.	3,563	3,344	6,154	3,186 - 3,509
8.	3,367	3,344	0,692	3,186 - 3,509
9.	0,276	0,26	2,497	0,256 - 0,282
10.	0,252	0,269	-6,789	0,256 - 0,282
11.	1,690	1,675	0,858	1,596 - 1,758
12.	1,593	1,675	-5,179	1,596 - 1,758
13.	0,285	0,269	5,576	0,25,6 - 0,282
14.	0,271	0,269	0,698	0,256 - 0,282
15.	1,803	1,675	7,072	1,596 - 1,758
16.	1,710	1,675	2,018	1,596 - 1,758
17.	0,847	0,949	-11,994	0,924 - 0,973
18.	0,997	0,949	4,856	0,924 - 0,973
19.	0,932	0,949	-1,780	0,924 - 0,973
20.	0,884	0,949	-7,307	0,924 - 0,973

Табела 5.1.1.6: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
 Table 5.1.1.6: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ <math>b(i)</math></b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност  <math>R_a</math> (um)</b>	<b>Пресметковна вредност  <math>R_a</math> (um)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	0,546	0,541	0,943	0,499 - 0,587
2.	0,514	0,509	0,943	0,469 - 0,552
3.	3,353	3,321	0,943	3,062 - 3,602
4.	3,183	3,153	0,943	2,907 - 3,420
5.	0,576	0,571	0,943	0,526 - 0,619
6.	0,542	0,537	0,943	0,495 - 0,582
7.	3,563	3,529	0,943	3,254 - 3,828
8.	3,367	3,335	0,943	3,075 - 3,617
9.	0,276	0,273	0,943	0,252 - 0,297
10.	0,252	0,250	0,943	0,230 - 0,271
11.	1,690	1,674	0,943	1,544 - 1,816
12.	1,593	1,578	0,943	1,455 - 1,711
13.	0,285	0,282	0,943	0,260 - 0,306
14.	0,271	0,268	0,943	0,248 - 0,291
15.	1,803	1,786	0,943	1,647 - 1,937
16.	1,710	1,694	0,943	1,562 - 1,837
17.	0,847	0,949	-11,994	0,931 - 0,966
18.	0,997	0,949	4,856	0,931 - 0,966
19.	0,932	0,949	-1,780	0,931 - 0,966
20.	0,884	0,949	-7,307	0,931 - 0,966

Табела 5.1.1.7: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1.1.7: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
Ред. број	Измерена вредност Ra (um)	Пресметковна вредност Ra (um)	Грешка во (%)	95 % - Интервал на доверба
1.	0,546	0,537	1,639	0,512 - 0,564
2.	0,514	0,537	-4,484	0,512 - 0,564
3.	3,353	3,344	0,277	3,186 - 3,509
4.	3,183	3,344	-5,049	3,186 - 3,509
5.	0,576	0,537	6,762	0,512 - 0,564
6.	0,542	0,537	0,913	0,512 - 0,564
7.	3,563	3,344	6,154	3,186 - 3,509
8.	3,367	3,344	0,692	3,186 - 3,509
9.	0,276	0,269	2,497	0,256 - 0,282
10.	0,252	0,269	-6,789	0,256 - 0,282
11.	1,690	1,675	0,858	1,596 - 1,758
12.	1,593	1,675	-5,179	1,596 - 1,758
13.	0,285	0,269	5,576	0,256 - 0,282
14.	0,271	0,269	0,698	0,256 - 0,282
15.	1,803	1,675	7,072	1,596 - 1,758
16.	1,710	1,675	2,018	1,596 - 1,758
17.	0,847	0,949	-11,994	0,924 - 0,973
18.	0,997	0,949	4,856	0,924 - 0,973
19.	0,932	0,949	-1,780	0,924 - 0,973
20.	0,884	0,949	-7,307	0,924 - 0,973

Табела 5. 1.1.8: Оцена на значајноста на факторите b(i)  
Table 5. 1.1.8: Assessment of the significance of factors b(i)

<b>ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>							
<b>Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство</b>							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода F(i)	Сума на квадрати S(i)	Дисперзија S(i)/F(i)	Дисперзиони односи FR(i)	Оцена на значајноста на факторите b(i)
Индекс I	Кодирани b (i)	Декодирани p (i)					
0	-0,05278	16.874	1	0,055712	0,055712	11,3	Значаен
1	-0,03020	0.0000	1	0,014596	0,014596	3,0	Незначаен
2	0,91437	1.594	1	13,377	13,377	2703,8	Значаен
3	0,02899	0.0000	1	0,013447	0,013447	2,7	Незначаен
4	-0,34549	- 0.9968644	1	1.910	1,910	386,,0	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.1.9: Оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5. 1.1.9: Assessment of the significance of factors  $b(i)$

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $I$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	-0,05278	16,874	1	0,055712	0,055712	11,3	Значаен
1	-0,03020	0,0000	1	0,014596	0,4596	3,0	Значаен
2	0,91437	1,594	1	13,377	13,377	2703,8	Значаен
3	0,02899	0,0000	1	0,013447	0,013447	2,7	Значаен
4	-0,34549	- 0,9968644	1	1,910	1,910	386,	Значаен
12	0,00262	0,0000	1	0,000110	0,000110	0,02218	Незначаен
13	0,00261	0,0000	1	0,000109	0,000109	0,02203	Незначаен
14	-0,00147	0,0000	1	0,000035	0,000035	0,00701	Незначаен
23	0,00258	0,0000	1	0,000106	0,000106	0,02148	Незначаен
24	0,00349	0,0000	1	0,000194	0,000194	0,03929	Значаен
34	0,00106	0,0000	1	0,000018	0,000018	0,00361	Незначаен
123	-0,00241	0,0000	1	0,000093	0,000093	0,01878	Незначаен
124	0,00104	0,0000	1	0,000017	0,000017	0,00350	Незначаен
134	0,00323	0,0000	1	0,000167	0,000167	0,03383	Незначаен
234	0,00128	0,0000	1	0,000026	0,000026	0,00526	Незначаен
1234	-0,00190	0,0000	1	0,000058	0,000058	0,01163	Незначаен
Ако е $FR(i) < 10,130 = >$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 = >$ значаен			

Табела 5.1.1.10: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.1.10: Without an assessment of the significance of factorite  $b(i)$

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $I$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	-0,05278	26,419	1	0,055712	0,055712	11,3	Значаен
1	-0,03020	-0,0881016	1	0,014596	0,014596	3,0	Незначаен
2	0,91437	1,594	1	13,377	13,377	2703,8	Значаен
3	0,02899	0,0836496	1	0,013447	0,013447	2,7	Незначаен
4	-0,34549	-0,9968644	1	1,910	1,910	386,0	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 = >$ незначаен				Ако е $FR(i) > 10,130 = >$ значаен			

Табела 5.1.111: Без оцена на значајноста на факторите b(i)

Table 5.1.1.11: Without an assessment of the significance of factorite b(i)

<b>БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>							
<b>Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство</b>							
<b>Коефициенти од математичкиот модел</b>			<b>Степен на слобода F(i)</b>	<b>Сума на квадрати S(i)</b>	<b>Дисперзија S(i)/F(i)</b>	<b>Дисперзиони односи FR(i)</b>	<b>Оцена на значајноста на факторите b(i)</b>
<b>Индекс I</b>	<b>Кодирани b (i)</b>	<b>Декодирани p (i)</b>					
<b>0</b>	-0,05278	26,195	1	0,055712	0,055712	11,3	Значаен
<b>1</b>	-0,03020	- 0,0848777	1	0,014596	0,014596	3,0	Незначаен
<b>2</b>	0,91437	1,612	1	13,377	13,377	2703,8	Значаен
<b>3</b>	0,02899	0,2452413	1	0,013447	0,013447	2,7	Незначаен
<b>4</b>	-0,34549	- 0,8508494	1	1,910	1,910	386,0	Значаен
<b>12</b>	0,00262	- 0,0030637	1	0,000110	0,000110	0,02218	Незначаен
<b>13</b>	0,00261	- 0,0317135	1	0,000109	0,000109	0,02203	Незначаен
<b>14</b>	-0,00147	- 0,0203339	1	0,000035	0,000035	0,00701	Незначаен
<b>23</b>	0,00258	0,1263699	1	0,000106	0,000106	0,02148	Незначаен
<b>24</b>	0,00349	0,1666582	1	0,000194	0,000194	0,03929	Незначаен
<b>34</b>	0,00106	0,3148319	1	0,000018	0,000018	0,00361	Незначаен
<b>123</b>	-0,00241	- 0,0254409	1	0,000093	0,000093	0,01878	Незначаен
<b>124</b>	0,00104	- 0,0304747	1	0,000017	0,000017	0,00350	Незначаен
<b>134</b>	0,00323	- 0,0602616	1	0,000167	0,000167	0,03383	Незначаен
<b>234</b>	0,00128	0,3836066	1	0,000026	0,000026	0,00526	Незначаен
<b>1234</b>	-0,00190	- 0,0802852	1	0,000058	0,000058	0,01163	Незначаен
<b>Ако е <math>FR(i) &lt; 10,130 = &gt;</math> незначаен</b>				<b>Ако е <math>FR(i) \geq 10,130 = &gt;</math> значаен</b>			



Табела 5.1.1.12: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.1.12: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слоб. F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзиони односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,022964	0,001531			
Грешка од експериментот	3	0,014843	0,004948			
Адекватност на моделот	12	0,008121	0,000677	0,136792	8,740	адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија						
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.1.13: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.1.13: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	0,051008	0,003000			
Грешка од експериментот	3	0,014843	0,004948			
Адекватност на моделот	14	0,036165	0.002583	0,522121	8,710	адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија						
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.1.14: Дисперзиона анализа

Table 5.1.1.14: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзија a S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,022031	0,001469			
Грешка од експериментот	3	0,014843	0,004948			
Адекватност на моделот	12	0,007188	0,000599	0,121076	8,740	адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија						
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.1.15: Дисперзиона анализа

Table 5.1.1.15: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзија a S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	0,051008	0,003000			
Грешка од експериментот	3	0,014843	0,004948			
Адекватност на моделот	14	0,036165	0,002583	0,522121	8,710	адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија						
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.1.16: Преглед на карактеристиките за избор на варијанта на математички модел

Table 5.1.1.16: Overview of characteristics for choice of variant to a mathematical model

ПРЕГЛЕД НА КАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ИЗБОР НА ВАРИЈАНТА НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ				
Карактеристики на математичкиот модел	Без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста	Без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста	Со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста	Со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста
Број на членови во полиномот	5	3	16	3
Пресметковен коефициент на адекватност на моделот	0,1367925	0,5221213	0,1210758	0,5221213
Табличен коефициент на адекватност на моделот	8,740	8,710	8,740	8,710
Оцена на адекватноста на моделот (адекватен/неадекватен)	Адекватен	Адекватен	Адекватен	Адекватен
Резидуална сума	0,0229641	0,0510076	0,0220310	0,0510076
Грешка од експериментот	0,0148426	0,0148426	0,0148426	0,0148426
Коефициент на повеќекратна регресија	0,99925	0,99834	0,99928	0,99834

## 5.2. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ

Врз основа на средните вредности на измерените параметри и нивната математичка обработка, добиени се следниве математички модели за параметрите на рапавоста:

$$Ra = 26,419 \cdot v^{-0.0881016} \cdot f^{1.594} \cdot a^{0.0836496} \cdot r^{-0.9968644}$$

$$Rp = 108,167 \cdot v^{-0.20175567} \cdot f^{1.433} \cdot a^{0.0876579} \cdot r^{-1.007}$$

$$R_v = 19,459 \cdot v^{-0.0488042} \cdot f^{1.121} \cdot a^{0.1439891} \cdot r^{-0.7140308}$$

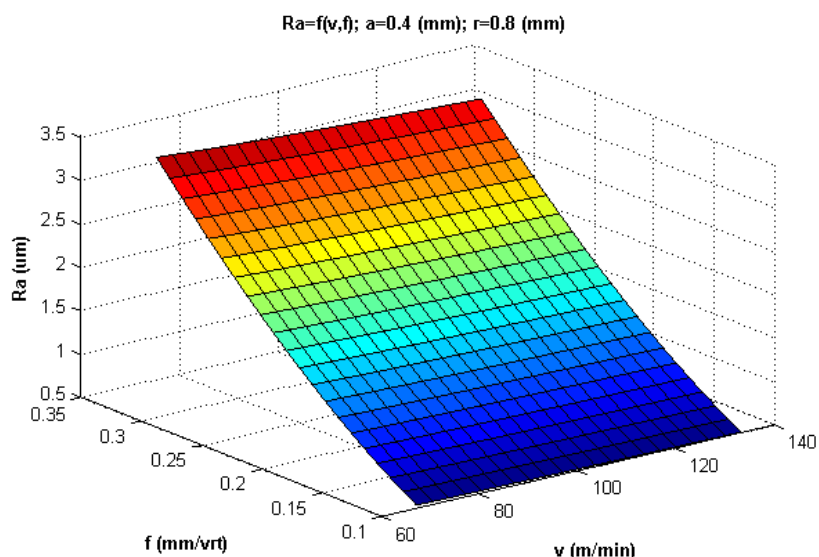
$$R_z = 102,895 \cdot v^{-0.1302555} \cdot f^{1.308} \cdot a^{0.1121491} \cdot r^{-0.8970264}$$

$$R_{Sm} = 1,534 \cdot v^{-0.0108679} \cdot f^{1.450} \cdot a^{-0.1195470} \cdot r^{-0.4662903}$$

$$R_{mr}(50\%) = 6.834 \cdot v^{0.2599983} \cdot f^{-0.1708942} \cdot a^{-0.0390200} \cdot r^{0.3174936}$$

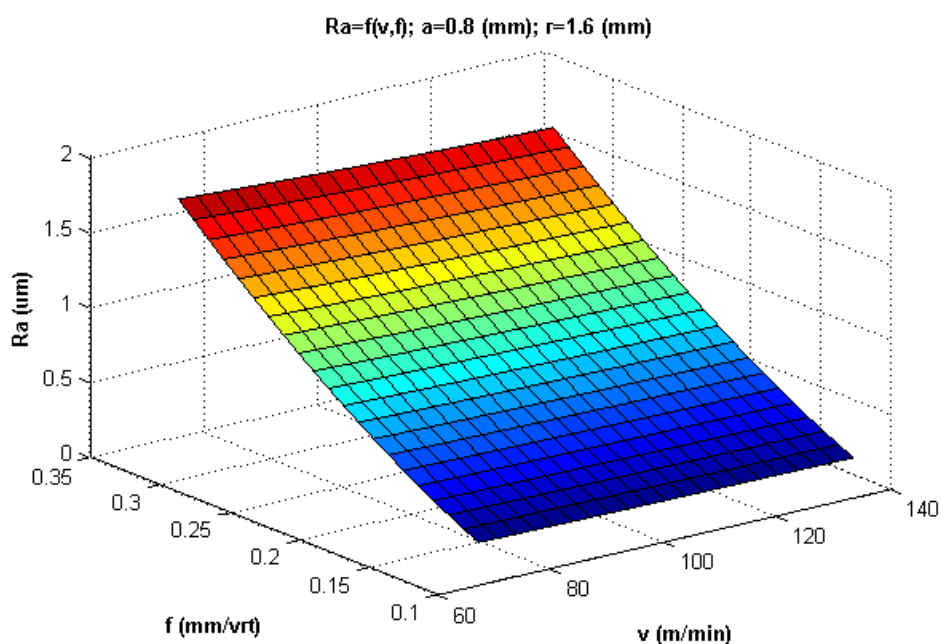
### 5.3. ГРАФИЧКА ИНТЕРПРЕТАЦИЈА НА МАТЕМАТИЧКИТЕ МОДЕЛИ

Со цел да се даде графички приказ на зависностите помеѓу истражуваните големини, во продолжение се дадени графичките интерпретации за математичките модели за параметрите  $R_a$ ,  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$ ,  $R_{Sm}$  и  $R_{mr}$  во зависност од режимот на режење ( $v$ ,  $s$ ,  $a$ ,  $r_\epsilon$ ), изработени во Matlab. Дијаграмите се прикажани во функција од два непроменливи и два променливи влезни параметри. Во продолжение се дадени дијаграмите само за параметарот  $R_a$ , а за останатите параметри дијаграмите се прикажани во Прилогот на дисертацијата.



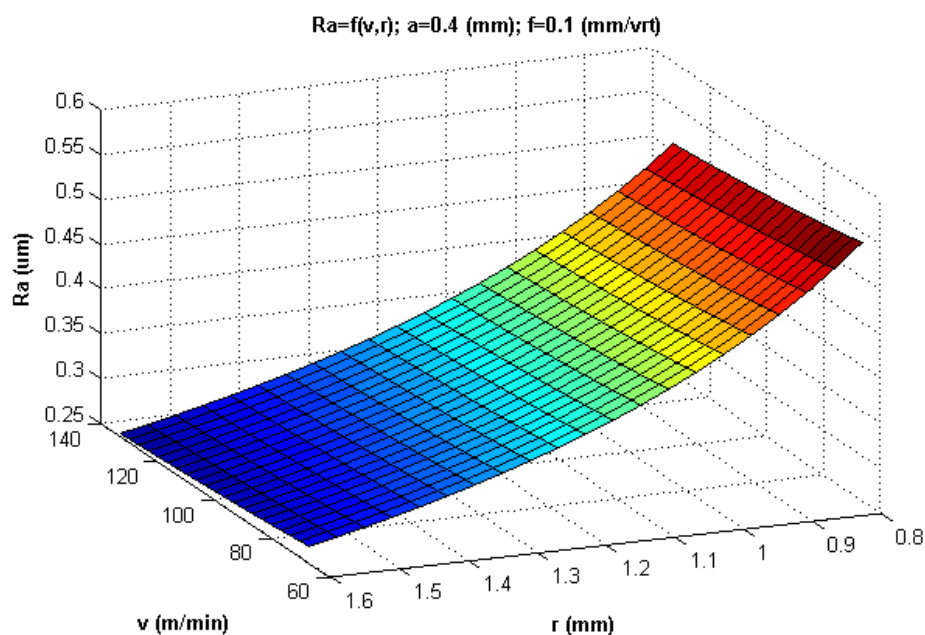
**Слика 5.3.1а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,4$  (mm) и  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)

Figure 5.3.1a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/rev), at cutting depth  $a=0,4$  (mm) and tool nose radius  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)



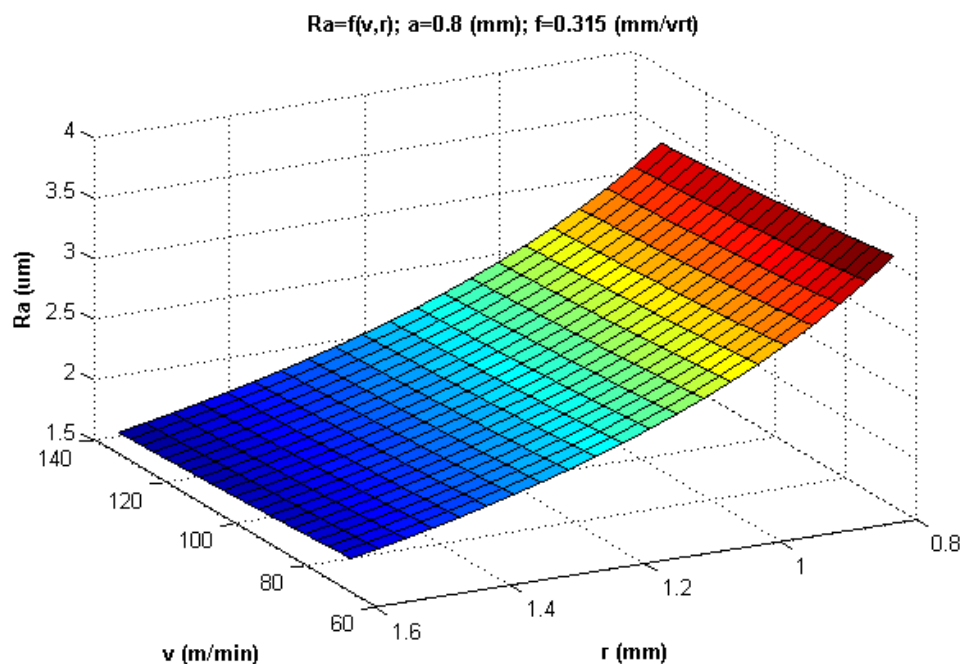
**Слика 5.3.2а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,8$  (mm) и  $r_{\epsilon}=1,6$  (mm)

Figure 5.3.2a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/rev), at cutting depth  $a=0,8$  (mm) and tool nose radius  $r_{\epsilon}=1,6$  (mm)



**Слика 5.3.3а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu m$ ) во функција од брзината на режење  $v$  ( $m/min$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $mm$ ), при  $a=0,4$  ( $mm$ ) и  $f=0,1$  ( $mm/vrt$ )

Figure 5.3.3a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the cutting speed  $v(m/min)$  and tool nose radius ( $mm$ ), at cutting depth  $a=0,4$  ( $mm$ ) and feed rate  $f=0,1(mm/rev)$



**Слика 5.3.4а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu m$ ) во функција од брзината на режење  $v$  ( $m/min$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $mm$ ), при  $a=0,8$  ( $mm$ ) и  $f=0,315$  ( $mm/vrt$ )

Figure 5.3.4a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the cutting speed  $v$  ( $m/min$ ) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon(mm)$ , at the cutting depth  $a=0,8$  ( $mm$ ) and the feed rate  $f=0,315$  ( $mm/rev$ )

## 6. АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ

### Рапавост - Параметар Ra

Од извршените мерења на рапавост, во зависност од брзината (m/min), поместот (mm/vrt), длабочина на режење (0.4 и 0,8 mm), радиус на врвот на плочката ( 0,8 и 1,6 mm), може да се даде следната анализа:

Брзината, со зголемување на брзината, а при тоа параметрите помест, длабочина на режење и радиусот на врвот од плочката се непроменети - константни. Овде има повеќе варијанти, трите параметри (помест, длабочина на режење и радиус на врвот на алатот) се земаат за секоја пресметка со нивната вредност.

Зголемување/намалување на рапавоста во зависност од брзината од (67 и 133 m/min):

- При:  $f=0,1$ ,  $a=0,4$   $r=0,8$ ,  $Ra_{133/67} = -6,2\%$
- При:  $f=0,315$ ,  $a=0,4$   $r=0,8$ ,  $Ra_{133/67} = -4,97\%$
- При:  $f=0,1$ ,  $a=0,8$   $r=0,8$ ,  $Ra_{133/67} = -8,3\%$
- При:  $f=0,315$ ,  $a=0,8$   $r=0,8$ ,  $Ra_{133/67} = -5,85\%$
- При:  $f=0,1$ ,  $a=0,4$   $r=1,6$ ,  $Ra_{133/67} = -9,52\%$
- При:  $f=0,315$ ,  $a=0,4$   $r=1,6$ ,  $Ra_{133/67} = -6,28\%$
- При:  $f=0,1$ ,  $a=0,8$   $r=1,6$ ,  $Ra_{133/67} = -5,16\%$
- При:  $f=0,315$ ,  $a=0,8$   $r=1,6$ ,  $Ra_{133/67} = -5,43,0\%$

Брзината влијае помалку на рапавоста Ra (-9,52 % ÷ -4,97 %), со зголемување на брзината се намалува рапавоста Ra.

Влијание на поместот, зголемување/намалување на рапавоста во зависност од поместот:

од (0,1 и 0,315  $\mu\text{m}$ ):

- При:  $v=67$   $a=0,4$   $r=0,8$   $Ra_{0,315/0,1} = 6,03$
- При:  $v=133$   $a=0,4$   $r=0,8$   $Ra_{0,315/0,1} = 6,1$

- При:  $v=67$        $a=0,8$        $r=0,8$        $Ra_{0,315/0,1} = 6,07$
- При:  $v=133$        $a=0,8$        $r=0,8$        $Ra_{0,315/0,1} = 6,2$
- При:  $v=67$        $a=0,4$        $r=1,6$        $Ra_{0,315/0,1} = 6,12$
- При:  $v=133$        $a=0,4$        $r=1,6$        $Ra_{0,315/0,1} = 6,03$
- При:  $v=67$        $a=0,8$        $r=1,6$        $Ra_{0,315/0,1} = 6,32$
- При:  $v=133$ ,       $a=0,8$        $r=1,6$        $Ra_{0,315/0,1} = 6,3$

Поместот има големо влијание на зголемување на рапавоста.

Зголемување/намалување на рапавоста во зависност од длабочината на режење од (0,4 и 0,8 mm):

- При:  $v=67$ ,       $f=0,1$        $r=0,8$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,075$
- При:  $v=133$        $f=0,1$        $r=0,8$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,055$
- При:  $v=67$        $f=0,315$        $r=0,8$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,10$
- При:  $v=133$        $f=0,315$        $r=0,8$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,13$
- При:  $v=67$        $f=0,1$        $r=1,6$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,033$
- При:  $v=133$        $f=0,1$        $r=1,6$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,075$
- При:  $v=67$        $f=0,315$        $r=1,6$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,067$
- При:  $v=133$        $f=0,315$        $r=1,6$        $Ra_{0,8/0,4} = 1,075$

Длабочината на режење има многу помало влијание на рапавоста од поместот, односно со зголемување на длабочината на режење. се зголемува рапавоста.

Зголемување/намалување на рапавоста во зависност од радиус на врвот на алатот од 0,8 и 1,6 mm):

- При:  $v=67$        $f=0,1$        $a=0,8$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,485$
- При:  $v=133$        $f=0,1$        $a=0,8$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,465$
- При:  $v=67$        $f=0,315$        $a=0,8$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,50$
- При:  $v=133$        $f=0,315$        $a=0,8$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,508$
- При:  $v=67$        $f=0,1$        $a=0,4$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,537$
- При:  $v=133$        $f=0,1$        $a=0,4$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,49$
- При:  $v=67$        $f=0,315$        $a=0,4$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,513$
- При:  $v=133$        $f=0,315$        $a=0,4$        $Ra_{1,6/0,8} = 0,545$



Радиусот на врвот на резната плочка има поголемо влијание на рапавоста од длабочината на режење и брзината, а помало влијание од поместот, односно поголем радиус на врвот на алатот ја намалува рапавоста.

Влијание на технолошките параметри (брзина, помест, длабочина и радиус на врвот на алатот) кога сите параметри се променливи.

Брзина: Со зголемување на брзината (останатите параметри се константни), параметарот на рапавоста  $Ra$  се намалува во мал процент околу ~10 %.

Кога се набљудува влијанието на брзината во математичкиот израз (сите технолошки параметри се променливи), коефициентот на степенот на брзината е негативен ( $V^{-0,088106}$ ), ова значи се добива помала вредност колку е брзината поголема, односно се намалува  $Ra$ .

Помест: При поединечно влијание, со зголемување на поместот рапавоста многу се зголемува. Кога се набљудува влијанието на поместот во математичкиот израз за рапавоста  $Ra (f^{1,594})$ , ова значи со зголемување на поместот и влијанието на рапавоста е многу голема.

Длабочина на режење: При поединечно влијание има помало влијание на рапавоста. Кога се набљудува влијанието на длабочината на режење во математичкиот израз ( $a^{0,0836496}$ ), со зголемување на длабочината на режење се зголемува  $Ra$  помалку отколку при поединечно влијание.

Радиус на врвот на алатот: При поединечно влијание, со зголемување на радиусот на алатот има намалување на рапавоста повеќе од брзината и длабочината на режење, а помалку од поместот. Кога се набљудува влијанието на радиусот во математичкиот израз ( $r_e^{-0,9968644}$ ), има намалување на  $Ra$  со зголемување на радиусот.

Треба да се нагласи, коефициентот - експонент кој е негативен на параметрите на режење ја намалуваат вредноста на  $Ra$ , колку параметрите се поголеми.

Изразот за рапавоста  $Ra$  за математичкиот модел:

$$Ra = 26,419 \cdot v^{-0.0881016} \cdot f^{1.594} \cdot a^{0.0836496} \cdot r^{-0.9968644}$$

Колкави се загубите (отстапувањата) при мерење и пресметка на параметарот на рапавоста  $Ra$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Ra$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.1.4 за  $Ra$  може да се види дека има минимални отстапувања (0,15-2 %), а кај три има отстапување (-11 %, експеримент 17; 4,85 % експеримент 18; -7,37 % експеримент 20).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Ra$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.1.5 за  $Ra$  може да се види дека има отстапувања (0,25-7 %), а кај еден има отстапување (-11 %, експеримент 17).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Ra$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.1.6, за  $Ra$  може да се види дека има отстапувања (до 1 %), а кај три има (-11 %, експеримент 17; 4,85 %, експеримент 18; -7,37 %, експеримент 20; -7,37 %, експеримент 19).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Ra$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани на Табела 5.1.1.7 за  $Ra$  може да се види дека има отстапување (0,25-7 %), а кај еден има отстапување (-11 %, експеримент 17).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, за 1, 2, 3, 4 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10.130 = >$  значаен,  $FR(i)$  - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.1.8).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 1, 2, 3, 4, 24, 34, а за 12, 13, 14, 23, 13, 124, 134, 234, 1234 не е значаен (Табела 5.1.1.9).

Без оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, за останатите 4 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10.130 = >$  значаен, Ако е  $FR(i) \geq 10.130 = >$  значаен;  $FR(i)$ - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.1.10).

Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, а за останатите не е значаен (Табела 5.1.1.11).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.1.12).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.1.13).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.1.14).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.1.15).

### Рапавост - Параметар $R_p$

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_p$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.2.4 за  $R_p$  може да се види дека има отстапувања ( $-19,771 \div 20,156$  %), а кај еден има отстапување ( $-34,292$  %, експеримент 6).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_p$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.2.5 за  $R_p$  може да се види дека има отстапувања ( $-19,798 \div 21,527$  %), а кај еден има отстапување ( $-30,273$  %, експеримент 6).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_p$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.2.6 за  $R_p$  може да се види дека има отстапувања (до  $-3,173$  %), а кај три има ( $13,746$  %, експеримент 17;  $17,737$  %, експеримент 18;  $10,896$  %, експеримент 19).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_p$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторор  $b(i)$ . Од резултатите прикажани на Табела 5.1.2.7 за  $R_p$  може да се види дека има отстапување ( $\pm 13,7$  %), а кај три има

отстапување (-18,7 %, експеримент 18; -23,405 %, експеримент 11; -17.976 % експеримент 12).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 1, 2 и 4 е значаен, а за индекси 3 не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен;  $FR(i)$  - Дисперзионни односи) (Табела 5.1.2.8).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 1, 2, 4, 134, 1234, а за 3, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 1234 не е значаен (Табела 5.1.2.9).

Без оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 1, 2 и 4, а за индекси 3 не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен;  $FR(i)$  - Дисперзионни односи) (Табела 5.1.2.10).

Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, 134, 1234, а за 3, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 234 не е значаен (Табела 5.1.2.11)

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.2.12).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.2.13).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.2.14).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.2.15).

Математичкиот модел:

$$R_p = 108,167 \cdot v^{-0.20175567} \cdot f^{1.433} \cdot a^{0.0876579} \cdot r^{-1.007}$$

Параметрите  $v$  и  $r_e$  имаат негативни експоненти за брзината и за радиусот на врвот на алатот и со нивно зголемување се намалува параметарот  $R_p$ . Со  $f$  и  $a$  со нивно зголемување се зголемува  $R_p$ .

### Рапавост - Параметар $R_v$

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_v$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.3.4 за  $R_v$  може да се види дека има отстапувања до 20 %.

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_v$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.3.5 за  $R_v$  може да се види дека има отстапувања  $(-8,1 \div 10,872 \%)$ , а кај еден има отстапување  $(-31 \%, \text{експеримент } 20)$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_v$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.3.6 за  $R_v$  може да се види дека има отстапувања  $(-7,7 \div 2,4 \%)$ , а има еден кој отстапува  $(-31,156 \%, \text{експеримент } 20)$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_v$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на

значајноста на факторот  $b(i)$ . Од резултатите прикажани на Табела 5.1.3.7 за  $R_v$  може да се види дека има отстапување  $(-6,173 \div 13,15 \%)$ , а има отстапување и  $(-14,393 \%, \text{експеримент } 7; -131,156 \%, \text{експеримент } 20)$ .

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без меѓусебно дејство, за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4 е значаен, а 1 и 3 индекси не е значаен (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, ако е значаен;  $FR(i)$  - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.3.8).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, а за 1, 3, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 134, 234, 1234 не е значаен (Табела 5.1.3.9).

Без оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4, а за 1 и 3 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен;  $FR(i)$ - (Дисперзиони односи);  $FR(i)$  - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.3.10).

Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, а за 1, 3, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 134, 234, 1234 не е значаен (Табела 5.1.3.11).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.3.12).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.3.13).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.3.14)

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.3.15).

Со еден збор, сите 4 модели се адекватни.

Математичкиот модел:

$$Rv = 19,459 \cdot v^{-0.0488042} \cdot f^{1.121} \cdot a^{0.1439891} \cdot r^{-0.7140308}$$

Параметрите  $v$  и  $r$  имаат негативни експоненти за брзината и за радиусот на врвот на алатот и со нивно зголемување се намалува  $Rv$ . За параметрите  $f$  и  $a$  со нивно зголемување се зголемува и параметарот  $Rv$ .

### Рапавост - Параметар $Rz$

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Rz$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.4.4 за  $Rz$  може да се види дека има отстапувања до  $(-10,0 \div 10,981 \%)$ , а има два кои отстапуваат  $(-15,769 \%, \text{ експеримент 6}; 16,479 \% \text{ експеримент 9})$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Rz$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.4.5 за  $Rz$  може да се види дека има отстапувања  $(-9,4 \div 11,52 \%)$ , а има четири кои отстапуваат  $(-16,441 \%, \text{ експеримент 6}; -19,293 \%, \text{ експеримент 10}, -20.829 \% \text{ експеримент 12}; 16,961 \%, \text{ експеримент 9})$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Rz$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.4.6 за  $Rz$  може да се види дека има отстапувања  $(-0,975 \%)$ , а има четири кои



остапуваат (5,933 %, експеримент 117; 10,981 %, експеримент 18; 5,755 %, експеримент 19; -8.483 %, експеримент 20).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $R_z$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторот  $b(i)$ . Од резултатите прикажани на Табела 5.1.4.7 за  $R_z$  може да се види дека има отстапувања (-9,4 ÷ 11,52 %), а има четири кои отстапуваат (-16,441 % експеримент 6; -19,293 % експеримент 10, -20.829 % експеримент 12; 16,961 % експеримент 9).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без меѓусебно дејство, за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4 е значаен, а 1 и 3 индекси не се значајни. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен;  $FR(i)$  - Дисперзионни односи) (Табела 5.1.4.8).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, а за 1, 3, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 134, 1234 не е значаен (Табела 5.1.4.9).

Без оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4, а за 1 и 3 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен;  $FR(i)$  - Дисперзионни односи) (Табела 5.1.4.10)

Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, а за 3, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 134, 234, 1234 не е значаен (Табела 5.1.2.11).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.4.12).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.4.13).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.4.14).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.4.15).

Математичкиот модел:

$$R_z = 102,895 \cdot v^{-0.1302555} \cdot f^{1.308} \cdot a^{0.1121491} \cdot r^{-0.8970264}$$

Параметрите  $v$  и  $r_\varepsilon$  се со негативни експоненти за брзината и за радиусот на врвот на алатот и со нивно зголемување се намалува параметарот ***Rz***. За параметрите  $f$  и  $a$ , со нивно зголемување се зголемува и ***Rz***.

## Рапавост - Параметар $RSm$

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $RSm$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.5.4 за  $RSm$  може да се види дека има отстапувања до  $(-26.748 \div 31.489 \%)$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $RSm$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.5.5 за  $RSm$  може да се види дека има отстапувања  $(-28.320 \div 31.489 \%)$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $RSm$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на

значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.5.6 за  $RSm$  може да се види дека има отстапувања (-7.785 %), а има четири кои отстапуваат (15,344 %, експеримент 117; 31,489 %, експеримент 18; 25,331 %, експеримент 19; 30,413 %, експеримент 20).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $RSm$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторор  $b(i)$ . Од резултатите прикажани на Табела 5.1.5.7 за  $RSm$  може да се види дека има отстапувања (-12.974÷ 15.344 %), а има четири кои отстапуваат (-43.369 %, експеримент 6; -19.081 %, експеримент 14; 31,48 %, експеримент 18; 25,331 %, експеримент 19; 30413 %, експеримент 20).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без меѓусебно дејство, за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4 е значаен, а 1 и 3 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен,  $FR(i)$  - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.5.8).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, 24, а за 1, 3, 12, 13, 14, 23, 34, 123, 124, 134, 1234 не е значаен (Табела 5.1.5.9).

Без оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4, а за 1 и 3 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен,  $FR(i)$  - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.5.10).

Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, 24, а за 3, 12, 13. 14. 23, 34, 123, 124, 134, 234, 1234 не е значаен (Табела 5.1.5.11).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.5.12).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.5.13).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.5.14).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.5.15).

Математичкиот модел:

$$RSm = 1,534 \cdot v^{-0.0108679} \cdot f^{1.450} \cdot a^{-0.1195470} \cdot r^{-0.4662903}$$

Параметрите  $v$ ,  $a$  и  $r_s$  негативни експоненти за брзината, длабочината на режење и за радиусот на врвот на алатот и со нивно зголемување се намалува рапавоста. За параметрите  $f$  со негово зголемување се зголемува и рапавоста.

### Рапавост - Параметар $Rmr$

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Rmr$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.6.4 за  $Rmr$  може да се види дека има отстапувања до ( $\pm 33.0$  %), а има еден кој отстапува ( $-59.832$  %, експеримент 20).

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Rmr$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите прикажани во Табела 5.1.6.5 за

$Rmr$  може да се види дека има отстапувања  $(-22.659 \div 26.273 \%)$ , а кај некои има отстапување  $(-59.832 \%, \text{ експеримент } 20; 31,0 \%, \text{ експеримент } 19; 33,01 \%, \text{ експеримент } 18; 38,321 \%, \text{ експеримент } 5)$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Rmr$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ . Од резултатите и во Табела 5.1.6.6 за  $Rmr$  може да се види дека има отстапувања  $(-7.394 \%)$ , а кај некои има отстапување  $(-22.659 \%, \text{ експеримент } 117; -33.004 \%, \text{ експеримент } 18; -31.089 \%, \text{ експеримент } 19; -59.832 \%, \text{ експеримент } 20)$ .

Споредба на измерените вредности од експериментот и пресметаните вредности за  $Rmr$ , корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторот  $b(i)$ . Од резултатите прикажани на Табела 5.1.6.7 за  $Rmr$  може да се види дека има отстапувања  $(-23,880 \div 26,815 \%)$ , а има некои отстапувања  $(32,248 \%, \text{ експеримент } 6; -19.081 \%, \text{ експеримент } 14; 33,0 \%, \text{ експеримент } 18; 31,0 \%, \text{ експеримент } 19, -59,832 \%, \text{ експеримент } 20)$ .

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без меѓусебно дејство, за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4 е значаен, а за 1 и 3 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен;  $FR(i)$  - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.6.8).

Оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, 1234, а за 1, 3, 12, 13, 14, 23, 34, 123, 124, 134, не е значаен (Табела 5.1.6.9).

Без оцена на значајниот фактор  $b(i)$ , математички модел од прв ред без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , без меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2 и 4, а за 1 и 3 индекси не е значаен. (Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен, Ако е  $FR(i) \geq 10,130 = >$  значаен;  $FR(i)$  - Дисперзиони односи) (Табела 5.1.6.10).

Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , математички модел од прв ред со меѓусебно дејство, значаен е за математичкиот коефициент со индекс 0, 2, 4, 1234, а за 3, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 134, 234, не е значаен (Табела 5.1.6.11).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.6.12).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.6.13).

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.6.14)

Дисперзиона анализа, математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ , оцена на адекватноста на моделот: *адекватен* (Табела 5.1.6.15)

Математичкиот модел:

$$Rmr (50\%) = 6,834 \cdot v^{0.2599983} \cdot f^{-0.1708942} \cdot a^{-0.0390200} \cdot r^{0.3174936}$$

Параметрите  $v$ ,  $a$  и  $r_c$  имаат позитивни експоненти за брзината, длабочината на режење и за радиусот на врвот на алатот и со нивно зголемување се зголемува параметарот ***Rmr***. За параметрите  $f$  има негативен експонент со негово зголемување се намалува ***Rmr***.

## ЗАКЛУЧОК

Моделирањето на параметрите на рапавоста е сложена задача, бидејќи е потребно знаење од технологија на обработка, алатна машина, резен алат, обработуван материјал, режимите на обработка (брзина, помест, длабочина на режење, и радиус на врвот на плочката), како и од методите на мерење на рапавоста.

Врз основа на извршените експериментални испитувања и изработка на математички модели, може да се дадат следните заклучоци:

- Услови на испитување:
  - Избор на алатна машина, обработка со стружење се изведува на конвенционален струг модел TVP 250 од фирмата Првوماјска, со силина  $P = 11.2$  (Kw);
  - Избор на држач за плочка и плочка, при обработката со стружење се применуваат држачи за резачки плочки CSNR 25x25 M12H3 од фирмата HERTEL. При обработката со стружење се применува следната статичка геометрија :  $\kappa = 75^0$ ;  $\kappa_1 = 15^0$ ;  $\gamma = -6^0$ ;  $\alpha = 6^0$ ;  $\lambda = -6^0$ ;  $r_\epsilon = 0.8-1.2-1.6$  mm;  $\gamma_f = -20^0$ ;  $b_f = 0.2$  mm;
  - Избор на обработуван материјал, обработката со стружење се изведе на прстени, специјално изработени за оваа намена, од материјал челик за подобрување C 55 (DIN). Прстените се термички обработени на бараната тврдост  $52 \pm 2$  HRC. Димензиите на прстените се  $\Phi 102 \times \Phi 82 \times 20$  mm;
  - Експеримент: извршено е мерење на рапавоста ( $R_a$ ,  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$ ,  $R_{Sm}$ ,  $R_{mr}$ ) со различни режими на работа ( $v=67$ ,  $94$  и  $133$  m/min;  $s=0,1$ ,  $0,18$  и  $0,315$  mm/vrt,  $t=0,4$ ,  $0,566$  и  $0,8$  mm;  $R_\epsilon=0$ ,  $0,8$ ,  $1,2$  и  $1,6$  mm). Од три мерења се зема средната вредност за одеден режим на работа.
- Избрани се математички модели, корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел од прв ред со (без) меѓусебно дејство и со (без) оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ ;
- Се користи Дисперзиона анализа, која е адекватна за сите параметри на рапавоста ( $R_a$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_z$ ,  $R_{Sm}$  и  $R_{mr}$ );

- Параметрите од режењето го имаат следното влијание на рапавоста:
  - Поместот (како единствен променлив, а останатите параметри се константни): Има високо влијание на рапавоста, со негово зголемување се зголемува рапавоста и обратно. Со зголемување на поместот се зголемува рапавоста, причина е зголемување на отпорот при режење, температурата;
  - Брзината: Има ниско влијание на рапавоста, со нејзино зголемување се намалува рапавоста, ова намалување е приближно 10 %. Со зголемување на брзината се намалува рапавоста, бидејќи се намалуваат пластичните деформации;
  - Длабочината на режење: Со нејзино зголемување се зголемува рапавоста, а тоа е приближно 10 %, причина се отпорите, налеп на алатот, деформација на струшката, и
  - Радиусот на врвот на алатот: Со зголемување на радиусот се намалува рапавоста (~50 %). Неговото влијание е помало од влијанието на поместот, а поголемо од влијанието на брзината и длабочината. (Напомена: со претерано зголемување поради вибрации на алатот од отпорите при режење се зголемува рапавоста).
- Се одредуваат математичките модели:
  - $Ra = 26,419 \cdot v^{-0.0881016} \cdot f^{1.594} \cdot a^{0.0836496} \cdot r^{-0.9968644}$
  - $Rp = 108,167 \cdot v^{-0.20175567} \cdot f^{1.433} \cdot a^{0.0876579} \cdot r^{-1.007}$
  - $Rv = 19,459 \cdot v^{-0.0488042} \cdot f^{1.121} \cdot a^{0.1439891} \cdot r^{-0.7140308}$
  - $Rz = 102,895 \cdot v^{-0.1302555} \cdot f^{1.308} \cdot a^{0.1121491} \cdot r^{-0.8970264}$
  - $RSm = 1,534 \cdot v^{-0.0108679} \cdot f^{1.450} \cdot a^{-0.1195470} \cdot r^{-0.4662903}$
  - $Rmr = 6,834 \cdot v^{0.2599983} \cdot f^{-0.1708942} \cdot a^{-0.0390200} \cdot r^{0.3174936}$
- Со реализираните експериментални истражувања и добиените математички модели се потврдија тезите во докторската дисертација:
  - Методот Design of experiments (DOE), особено степенестиот облик на функција од прв ред, преку примена на четирифакторен план на експерименти со повторување во средната точка од истражуваниот хиперпростор, со успех може да се користи за



математичко моделирање на повеќе параметри на рапавост истовремено, и

- Истовременото математичко моделирање на повеќе параметри на рапавост овозможува еднозначно опишување на профилот на рапавост, додека пак вредноста на експонентите во математичките модели надолнето со проверката на адекватноста на експериментално добиените математички модели овозможува да се констатира степенот на стабилност на процесот на обработка со стружење на материјали со зголемена тврдина

Со овие изрази може да се одреди рапавоста според барањата на производителот, со менување на режимите на обработка.

- Насоки за понатамошни истражувања:
  - Избор на алати за режење на челици со зголемена тврдина да се користат резни плочки од CBN материјал;
  - Промена на геометријата на резниот алат;
  - Истражување на абењето на резниот алат врз квалитетот на обработената површина, и сл.

## ЛИТЕРАТУРА:

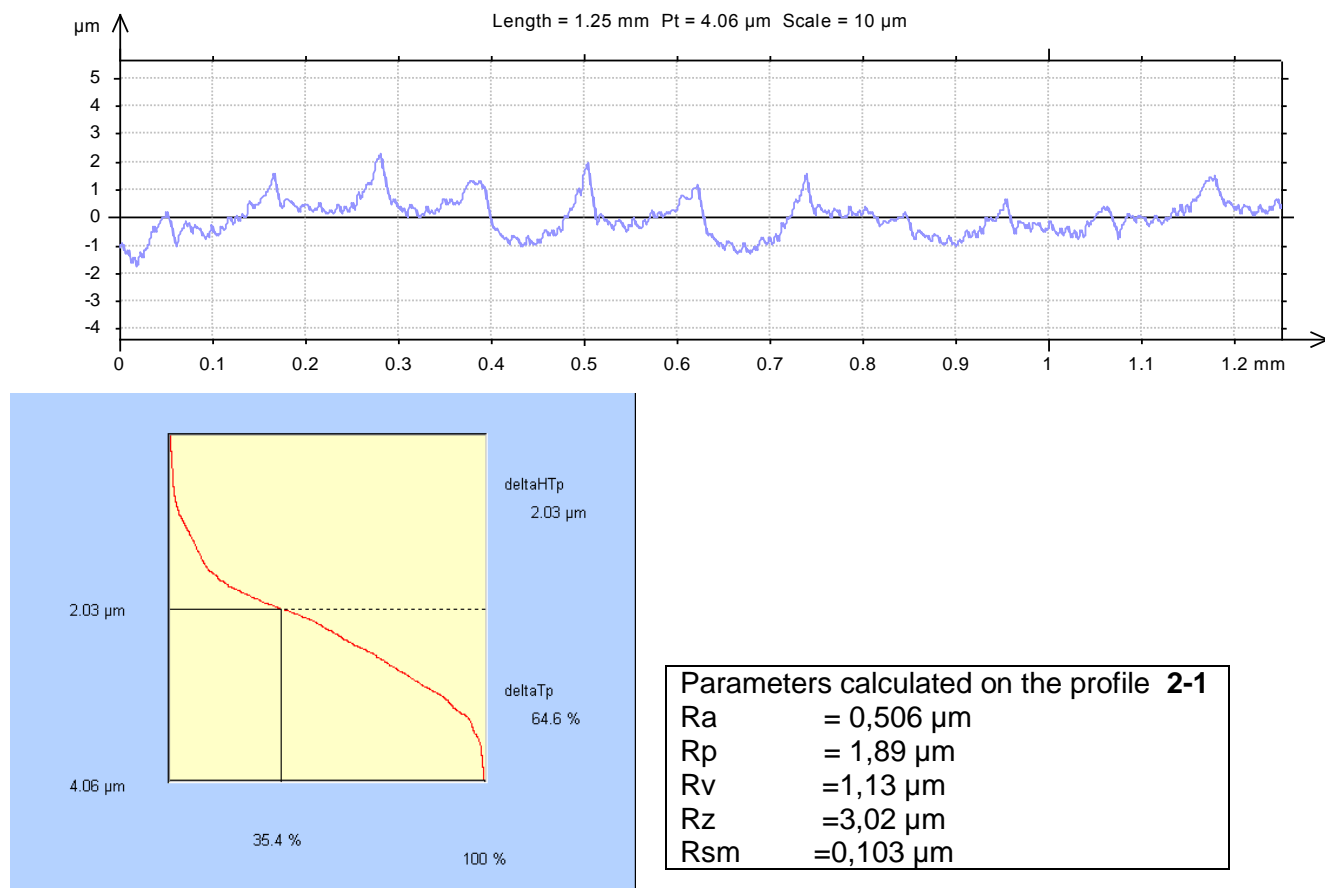
1. С. Цветков, „Произвидни технологии“, УГД - Штип, 2018;
2. Б. Недиќ, М. Лазиќ, „Обрада метала резањем“, Машински факултет - Крагуевац, 2007 г.;
3. J. Paulo Davim, „Machining of Hard Materials“, Department of Mechanical engineering, University of Aveiro, Portugal;
4. <https://kalyan-city.blogspot.com/2013/05/what-is-product-quality-definition>;
5. Dmochowski J., Podstawy obróbki skrawaniem. Państwowe wydawnictwo naukowe - Warszawa, 1983);
6. [Bekir Yalcin, Surface roughness and cutting forces in turning of tool steel with mixed ceramics and cubic boron nitride cutting tools, Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering. Vol.39.No.2, 2015];
7. Jovičić, M., „Primená novih materijala alata pri obradi teškoobradljivih metala i legura. Beograd, 1992;
8. Škorić, Stephan, „Istraživanje pogodnosti obrade ortogonalnim okruglim glodanjem“, Doktorska disertacija, FSB, 2002;
9. [Konig, W., Klocke F.: Fertigungsverfahren 1, Band 8, VDI Verlag, Aachen, 2008;
10. Cebalo, Roko, „Обрада одвајањем честица (Подсетник за испит)“, FSB, Zagreb, 1996;
11. Кузиновски, М., „Истражување на физичките појави и технолошките ефекти при стружење со зголемени брзини на режење“ - Докторска дисертација, страна 1);
12. Richt, C. (2009), Hard turn toward efficiency. Gear Solutions (4): 22-30;
13. T. Zhao, J. M. Zhou, V. Bushlya, J. E. Stahl, Effect of cutting edge radius on surface roughness and tool wear in hard turning of AISI 52100 steel, Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s00170-017-0065-z];
14. E. D. Derakhaasam, A. A. Akbari, Experimental investigation on the effect of workpiece hardness and cutting speed on surface roughness in hard turning with CBN tools, Proceedings of the World Congress on Engineering 2009 Vol II, VCE 2009, July 1-3, 2009, London, U.K.];

- 15.Гордана Глобоки, Даворин Крамар, Јанез Копач, 2014 година, Теорија и примена на метално сечење, У Бања Лука, у Љубљана);
- 16.Sudhansu Ranjan Das, Asutosh Panda, Debabrata Dhupal, Analysis of surface roughness in hard turning with coated ceramic inserts: Cutting parameters effects, prediction model, cutting conditions optimization and cost analysis, January 2017;
- 17.Zahia Hessainia a , Ahmed Belbaha, Mohamed Athmane Yallese a, Tarek Mabrouki b, Jean-François Rigal, On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/measurement](http://www.elsevier.com/locate/measurement);
- 18.İlhan Asiltürk ,Harun Akkuş, Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method, Measurement Volume 44, Issue 9, November 2011, Pages 1697-1704, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2011.07.003>;
- 19.Zeqing Xiao, Xiaoping Liao, Zhenhong Long, Ming Li, Effect of cutting parameters on surface roughness using orthogonal array in hard turning of AISI 1045 steel with YT5 tool, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology volume 93, pages 273-282 (2017);
- 20.Nabil Jouini, Philippe Revel, Maxence Bigerelle, Relevance of roughness parameters of surface finish in precision hard turning, First published: 19 July 2013, <https://doi.org/10.1002/sca.21100>;
- 21.Kubilay Aslantas, Mohd Danish , Ahmet Hasçelik , Mozammel Mia, Munish Gupta, Turnad Ginta, and Hassan Ijaz, Investigations on Surface Roughness and ToolWear Characteristics in Micro-Turning of Ti-6Al-4V Alloy, <http://www.mdpi.com/journal/materials>, Published: 6 July 2020,
- 22.A. A. Abdullah, Estimation and Optimization Cutting Conditions of Surface Roughness in Hard Turning Using Taguchi Approach and Artificial Neural Network, 2012 <https://www.scientific.net> › AMR.463-464.662;
- 23.Anna Zawada-Tomkiewicz, Analysis of surface roughness parameters achieved by hard turning with the use of PCBN tools, Department of Mechanical Engineering, Koszalin University of Technology, 15-17 Raclawicka, str., 75-620 Koszalin, Poland; [anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl](mailto:anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl), Received 21 September 2010, in revised form 16 November, 2010;

24. Dahbi, Ha jEl Moussami, Latifa Ezzine, Optimization of turning parameters for surface roughness, Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, Dec., 2015, Tanger, Morocco. hal-01260818 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01260818> Submitted on 22 Jan 2016;
25. Подураев, В. Н., Резание трудно обрабатываемых материалов, Высшая школа, Москва, 1974;
26. MIRFAD T. , MODELOVANJE PROCESA OBRADE STRUGANJEM TERMIČKI OBRADENOG ČELIKA, Novi Sad, 2018 (докторска);
27. JIS B0601- Standard. Explanation of Surface Characteristics, Japan;
28. ISO 4287:1997; Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters;
29. (<https://www.olympus-ims.com/en/metrology/surface-roughness-measurement-portal/parameters/>).

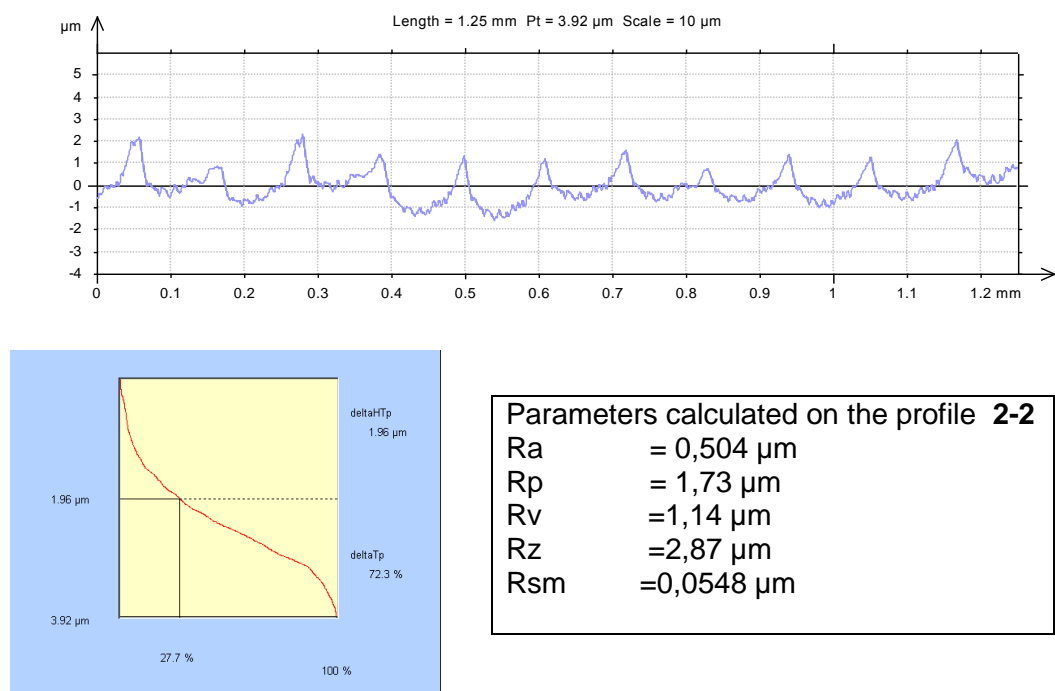
## ПРИЛОГ

#### 4.6.1. Резултати од мерење на параметрите на рапавоста во процесот на режење при обработка со стружење – графичка интерпретација на измерениот профил на рапавоста

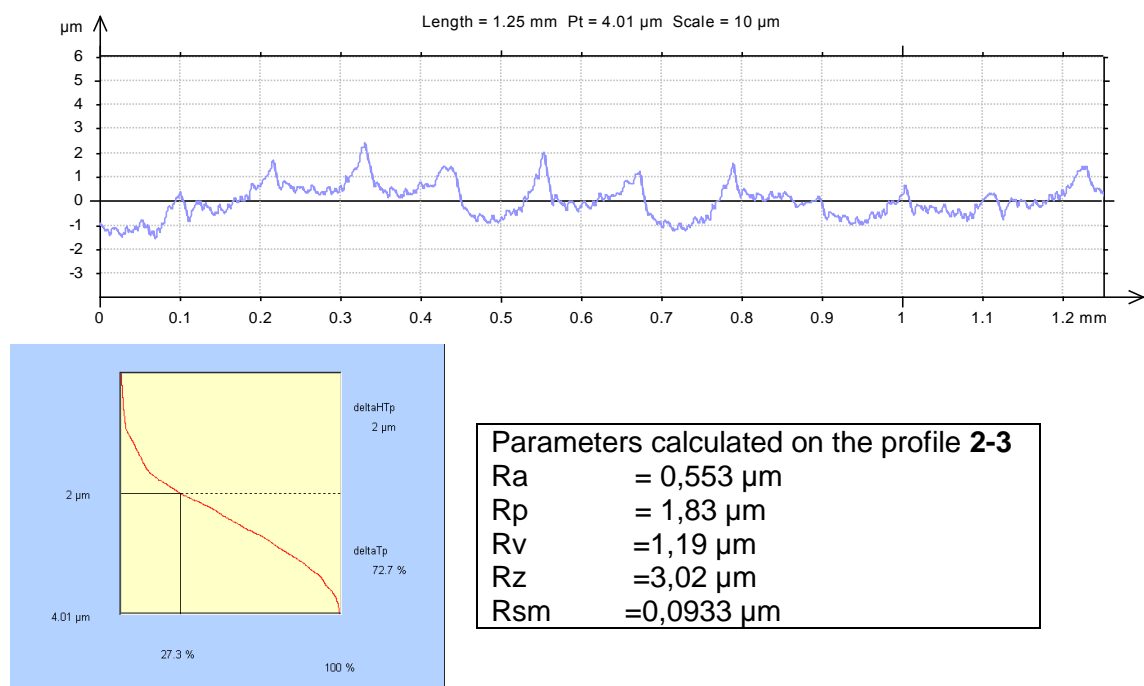


Слика 4.6 1.4: Измерен профил за рапавост за експеримент 2-1,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt.);  $a = 0,4$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)

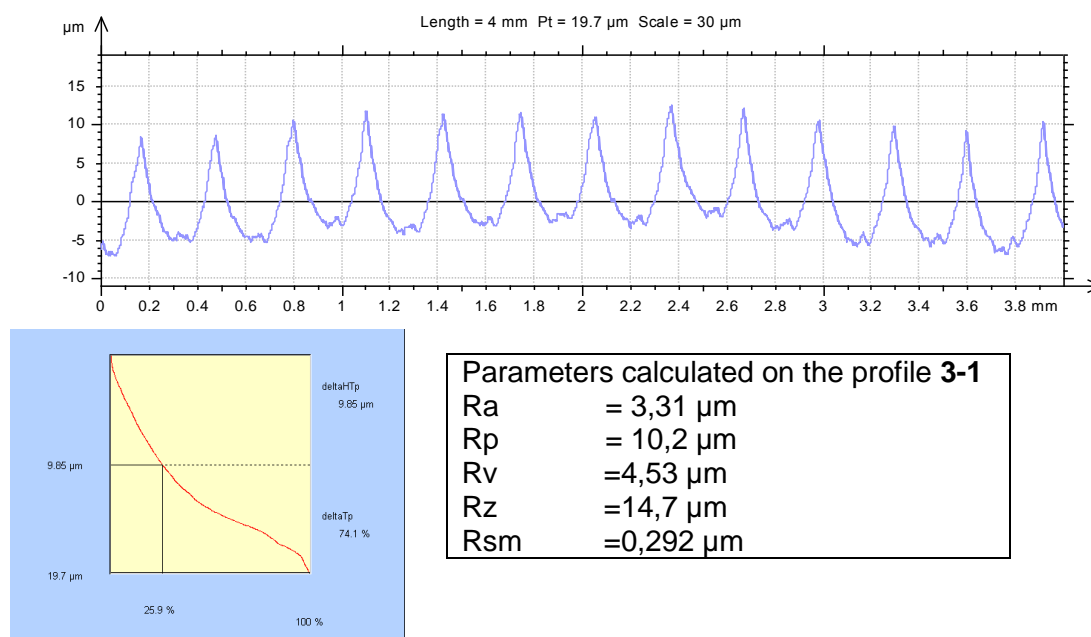
Figure 4.6 1.4: Measured roughness profile for experiment 2-1,  $v = 133$  (mm/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)



Слика 4.6 1.5: Измерен профил за рапавост за експеримент 2-2,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)  
 Figure 4.6 1.5: Measured roughness profile for experiment 2-2,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0.1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

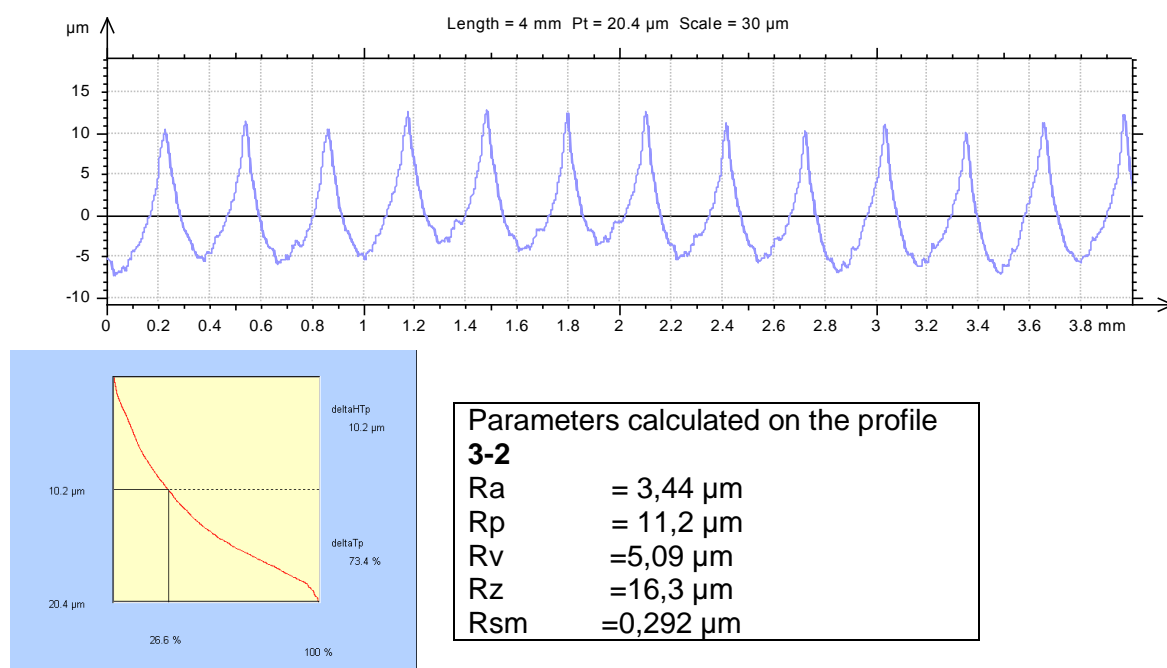


Слика 4.6.1.6: Измерен профил за рапавост за експеримент 2-3,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)  
 Figure 4.6.1.6: Measured roughness profile for experiment 2-3,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



Слика 4.6.1.7: Измерен профил за рапавост за експеримент 3-1,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,31$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)

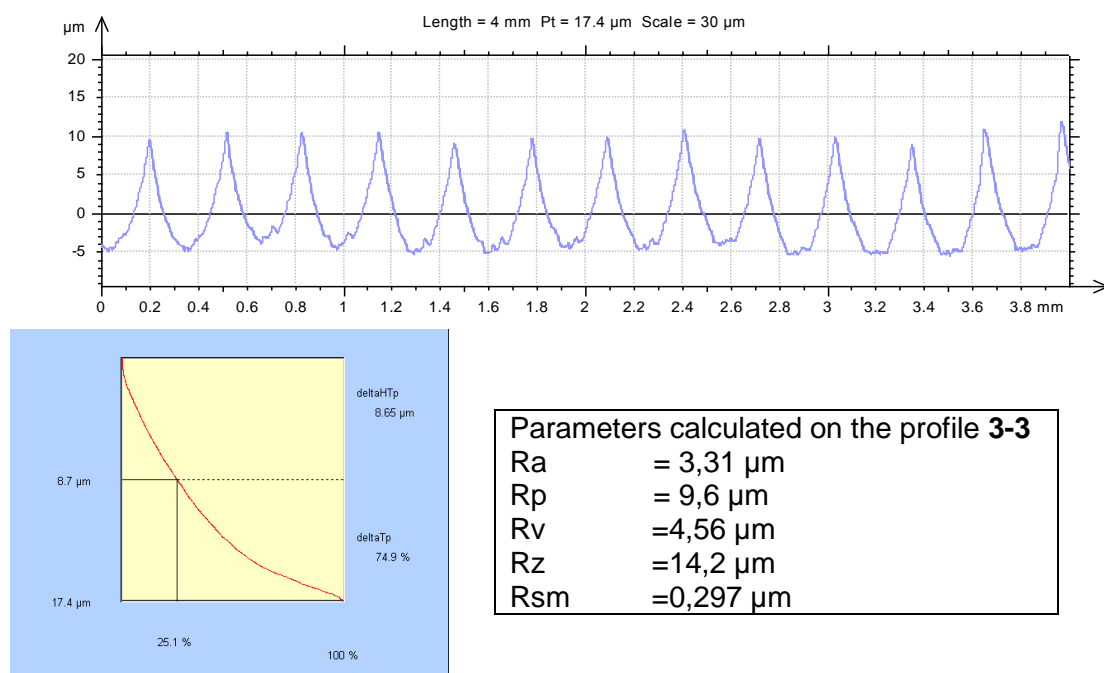
Figure 4.6.1.7: Measured roughness profile for experiment 3-1,  $v = 67$  (m / min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)



Слика 4.6.1.8: Измерен профил за рапавост за експеримент 3-2,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)

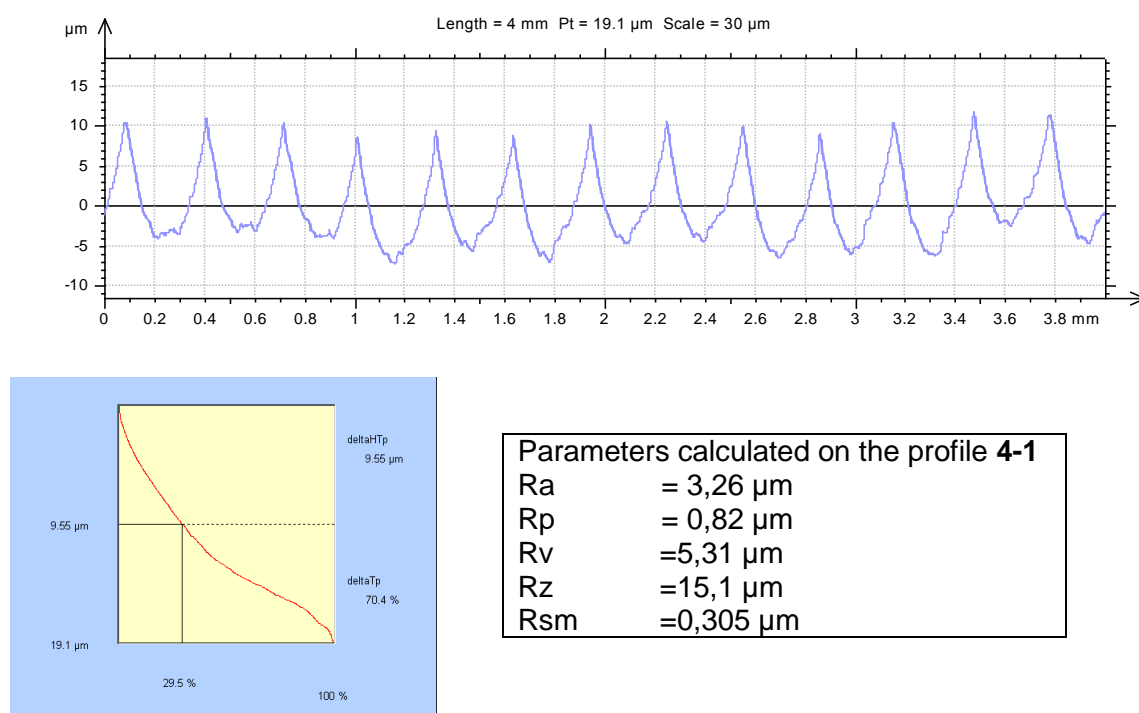
Figure 4.6.1.8: Measured roughness profile for experiment 3-2,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)





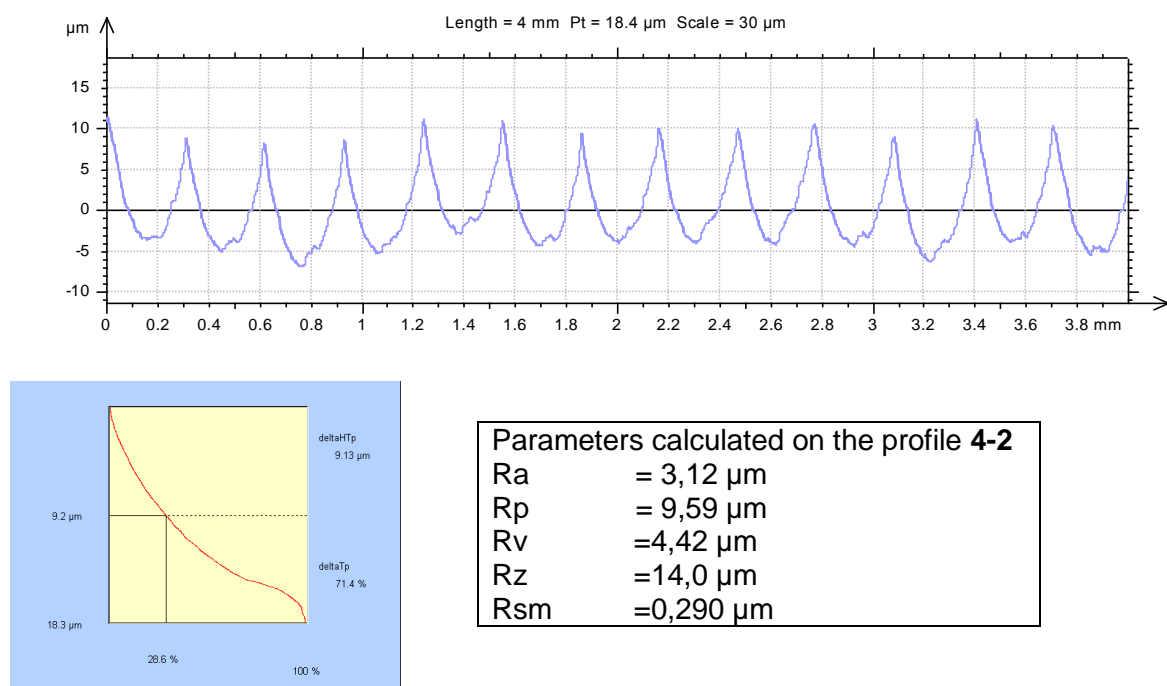
Слика 4.6.1.9: Измерен профил за рапавост за експеримент 3-3,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.9: Measured roughness profile for experiment 3-3,  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



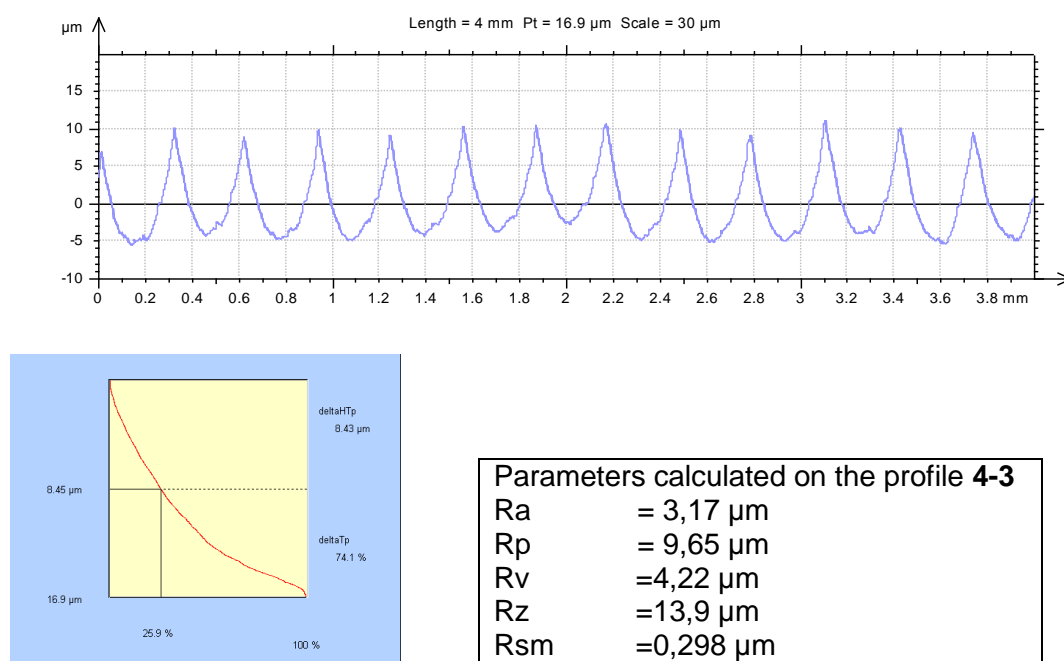
Слика 4.6.1.10: Измерен профил за рапавост за експеримент 4-1,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.10: Measured roughness profile for experiment 4-1,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  
 $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



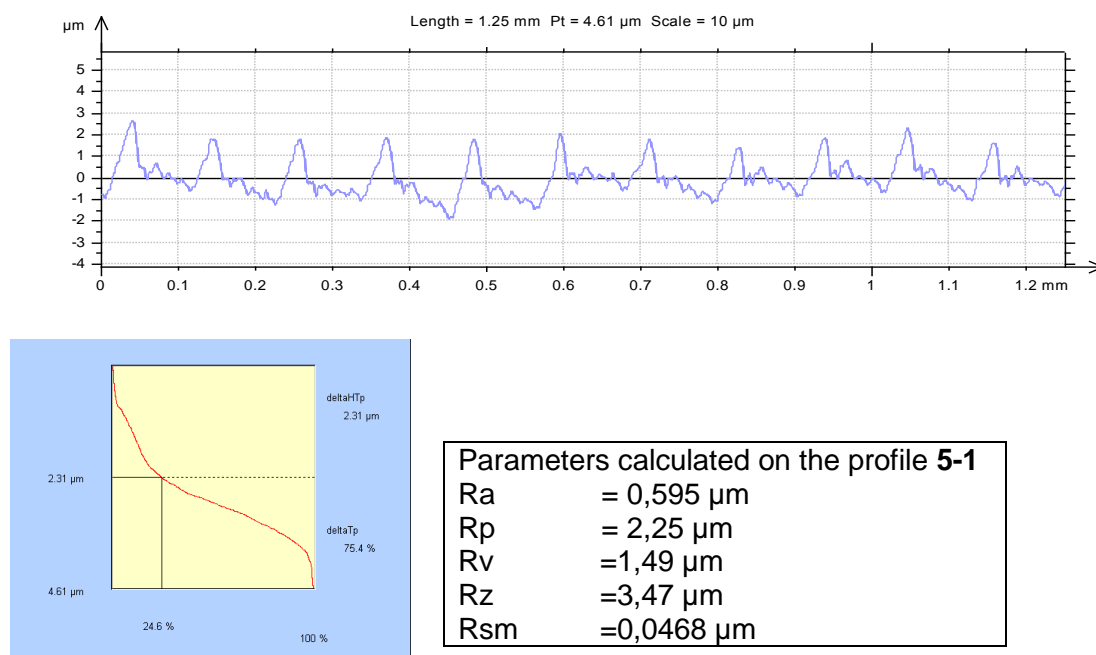
Слика 4.6. 1.11: Измерен профил за рапавост за експеримент 4-2, добиен при  $v = 133$  (m/min);  $f = 0.315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.11: Measured roughness profile for experiment 4-1,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



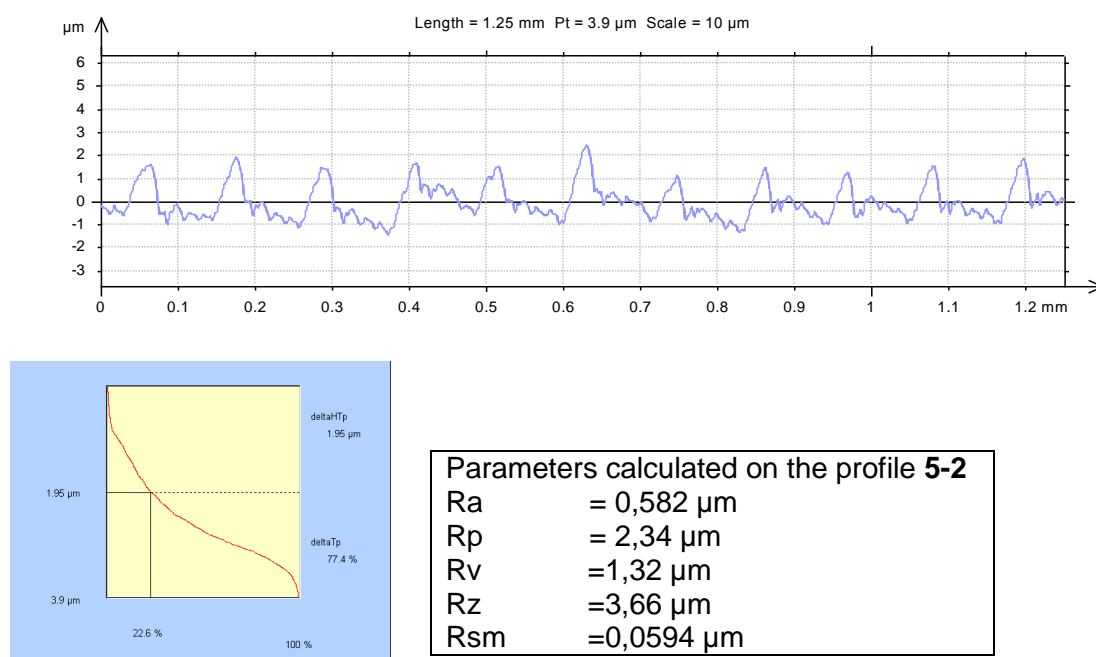
Слика 4.6.1.12: Измерен профил за рапавост за експеримент 4-3,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.12: Measured roughness profile for experiment 4-3,  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



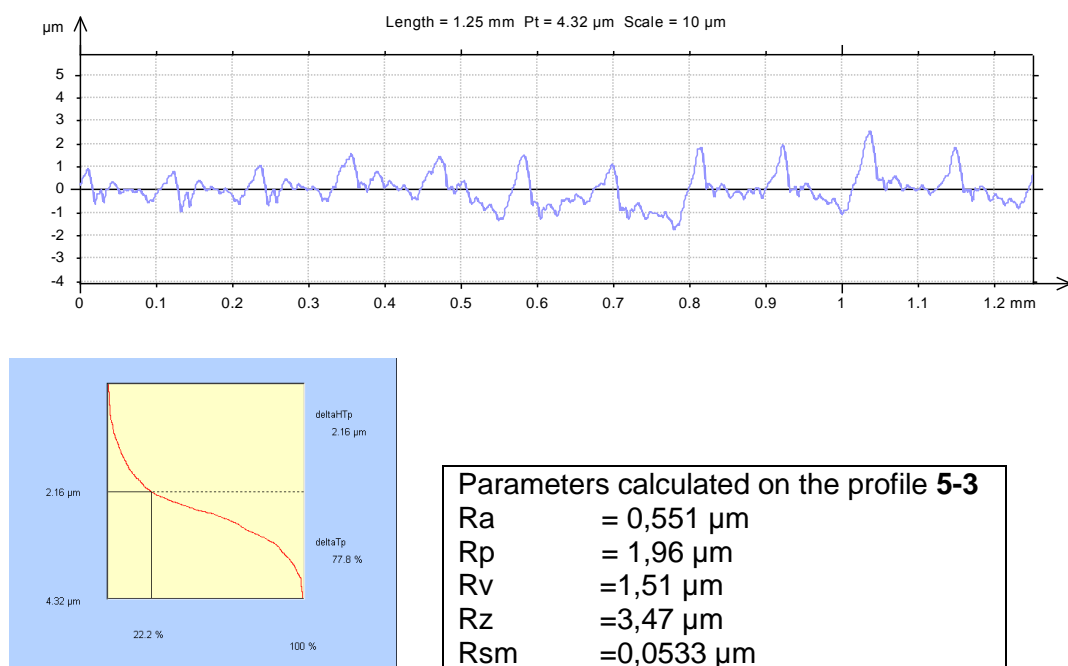
Слика 4.6 1.13: Измерен профил за рапавост за експеримент 5-1, добиен при  $v=67$  (m/min);  $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)

Figure 4.6 1.13: Measured roughness profile for experiment 5-1, obtained at  $v=67$  (m/min);  $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)

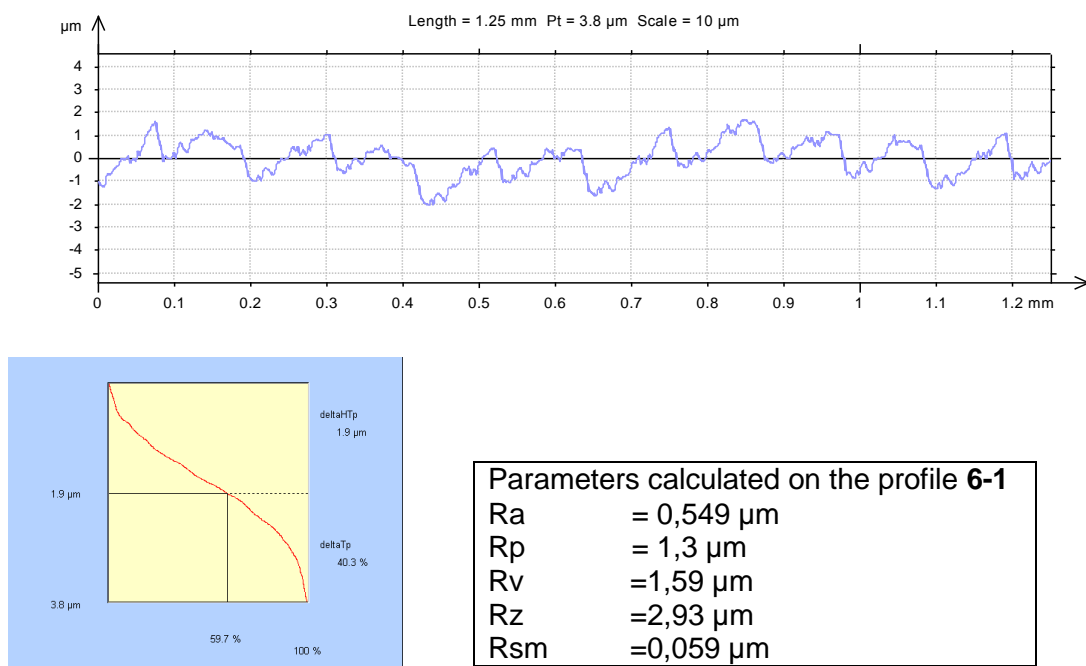


Слика 4.6 1.14: Измерен профил за рапавост за експеримент 5-2, добиен при  $v=67$  (m/min);  $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)

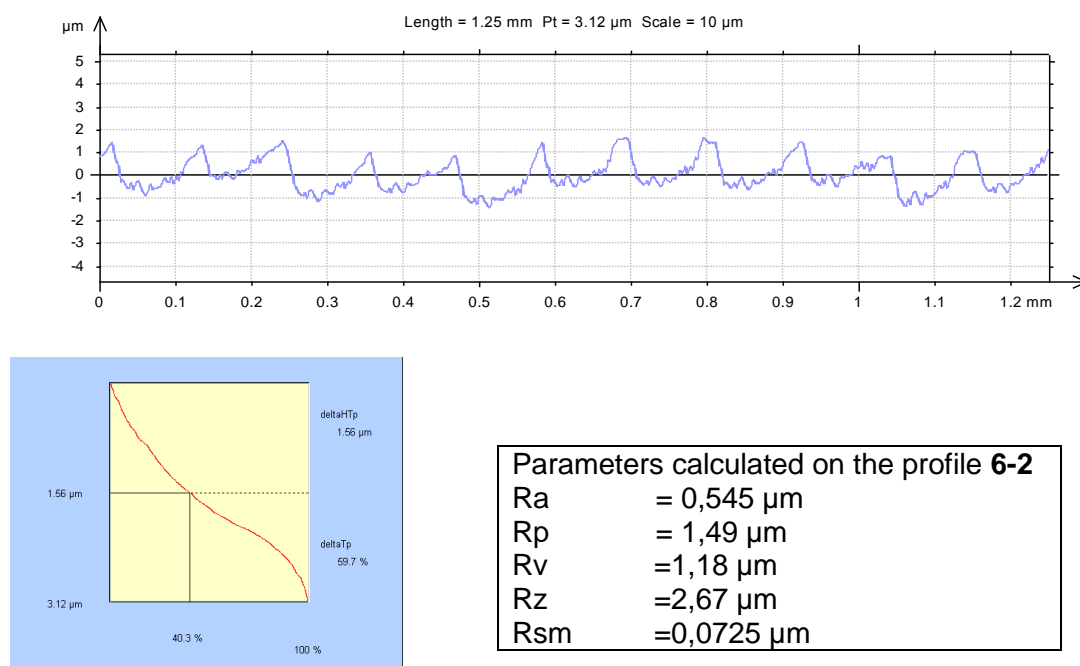
Figure 4.6 1.14: Measured roughness profile for experiment 5-2, obtained at  $v=67$  (m/min);  $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)



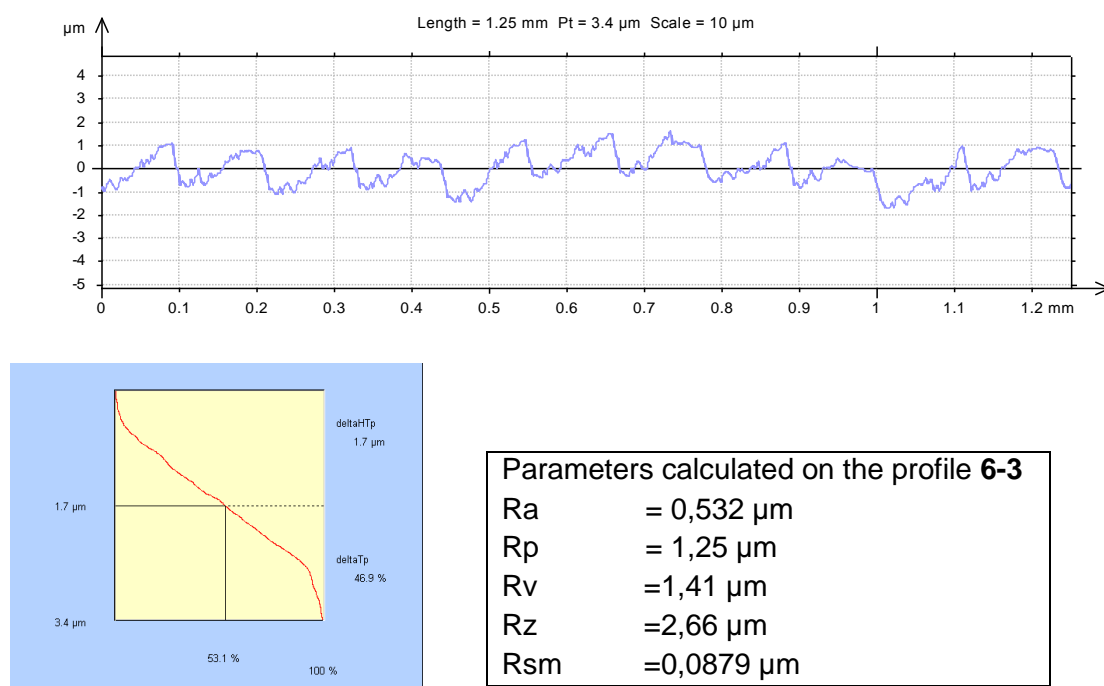
Слика 4.6.1.15: Измерен профил за рапавост за експеримент 5-3, добиен при  $v=67$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)  
 Figure 4.6.1.15: Measured roughness profile for experiment 5-3, obtained at  $v=67$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)



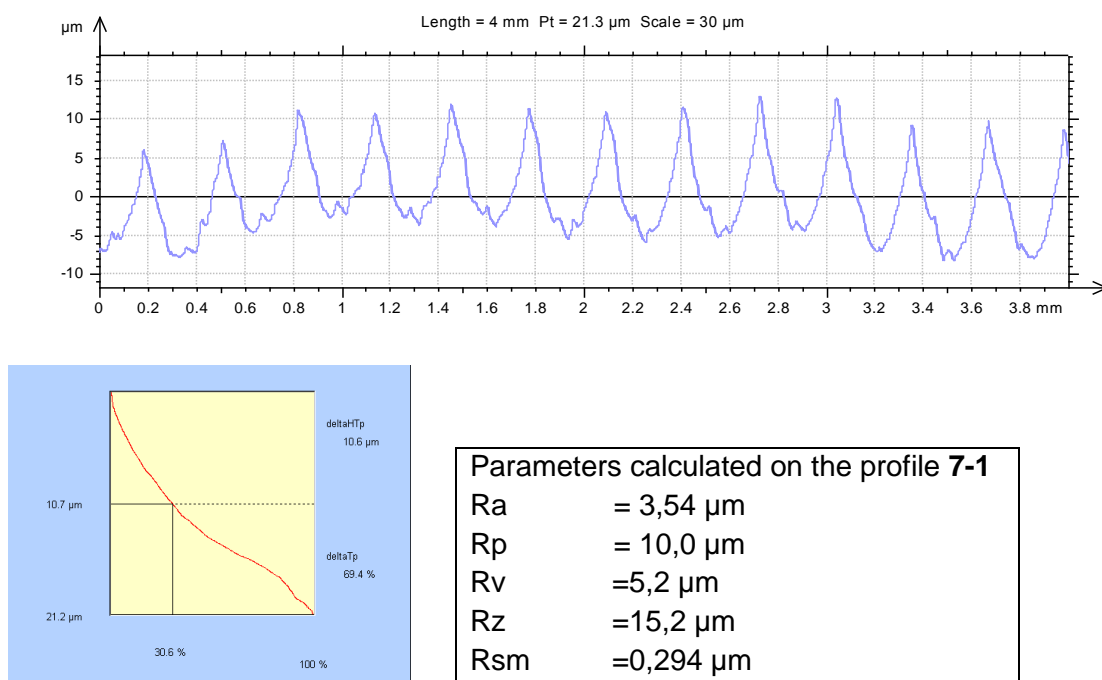
Слика 4.6.1.16: Измерен профил за рапавост за експеримент 6-1, добиен при  $v=133$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)  
 Figure 4.6.1.16: Measured roughness profile for experiment 6-1, obtained at  $v=133$  (m/min);  $f=0,1$   
 (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)



Слика 4.6.1.17: Измерен профил за рапавост за експеримент 6-2, добиен при  $v=133$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)  
 Figure 4.6.1.17: Measured roughness profile for experiment 6-2, obtained at  $v=133$  (m/min);  
 $f=0.1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)

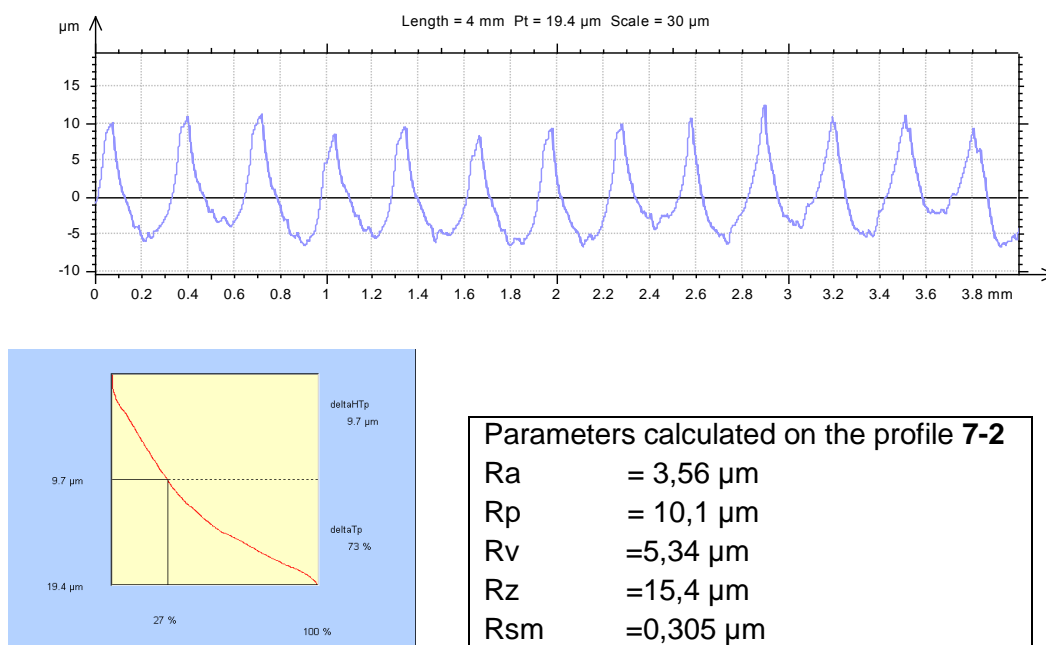


Слика 4.6.1.18: Измерен профил за рапавост за експеримент 6-3, добиен при  $v=133$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)  
 Figure 4.6.1.18: Measured roughness profile for experiment 6-3, obtained at  $v=133$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)



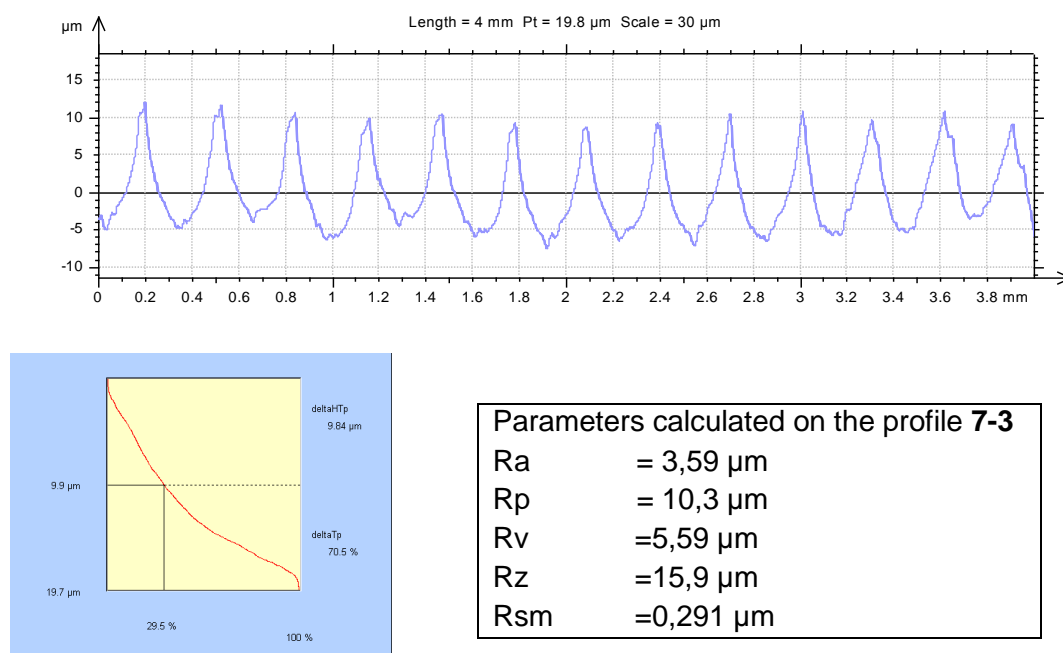
Слика 4.6.1.19: Измерен профил за рапавост за експеримент 7-1, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.19: Measured roughness profile for experiment 7-1, obtained at  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)



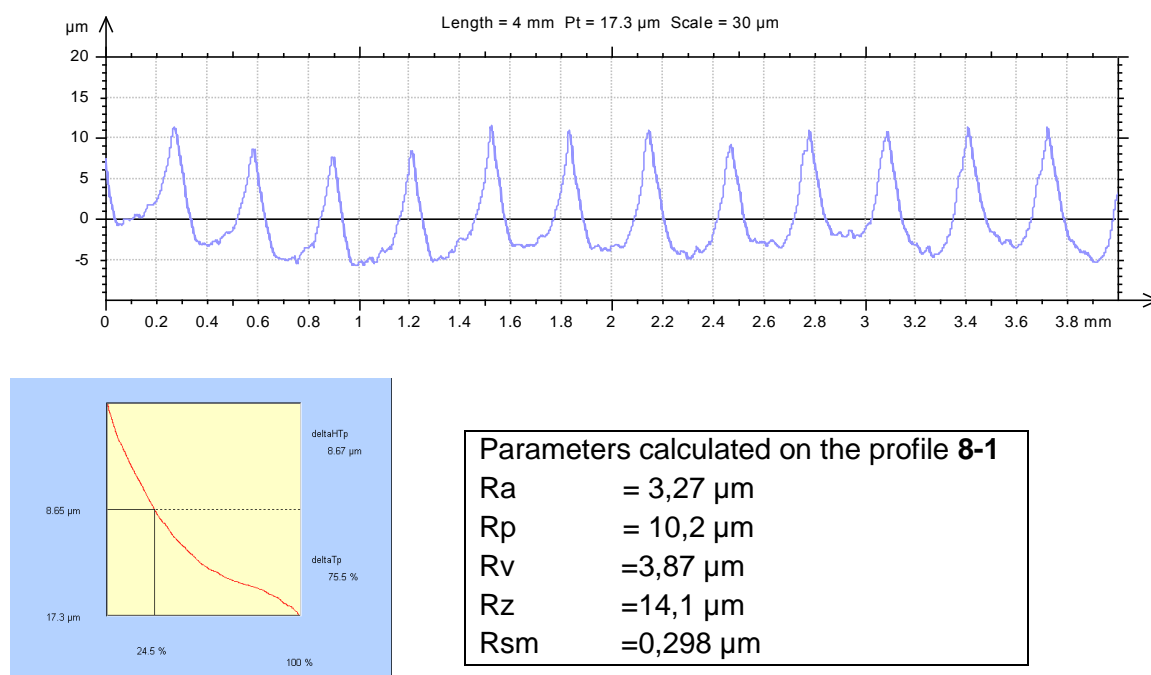
Слика 4.6.1.20: Измерен профил за рапавост за експеримент 7-2, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.20: Measured roughness profile for experiment 7-2, obtained at  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)



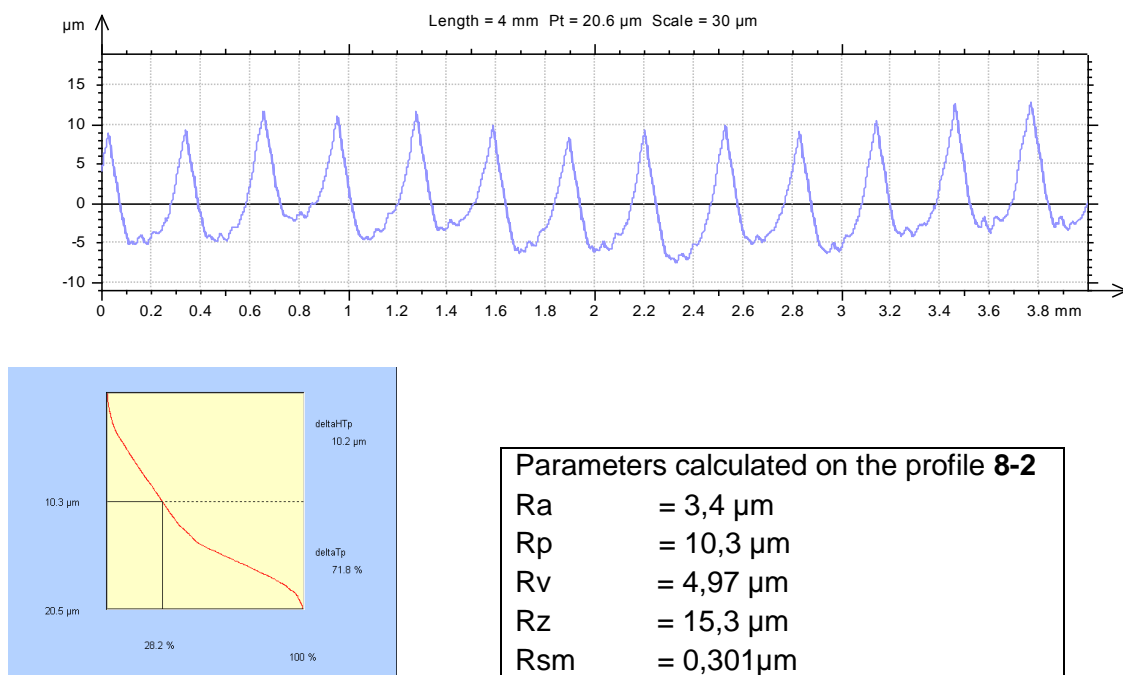
Слика 4.6.1.21: Измерен профил за рапавост за експеримент 7-3, добиен при  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.21: Measured roughness profile for experiment 7-3, obtained at  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)



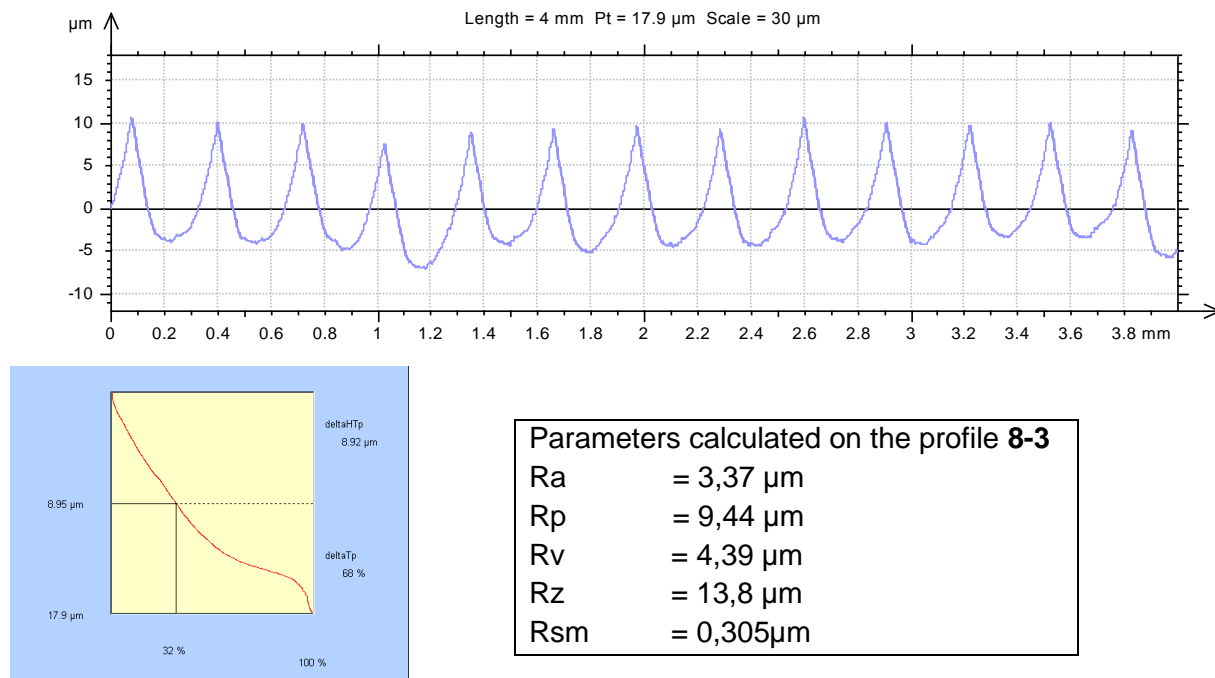
Слика 4.6.1.22: Измерен профил за рапавост за експеримент 8-1, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)

Figure 4.6.1.22: Measured roughness profile for experiment 8-1, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_e = 0,8$  (mm)



Слика 4.6.1.23: Измерен профил за рапавост за експеримент 8-2, добиен при  $v = 133$  (m/min);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm).  $f = 0,315$  (mm/vrt)

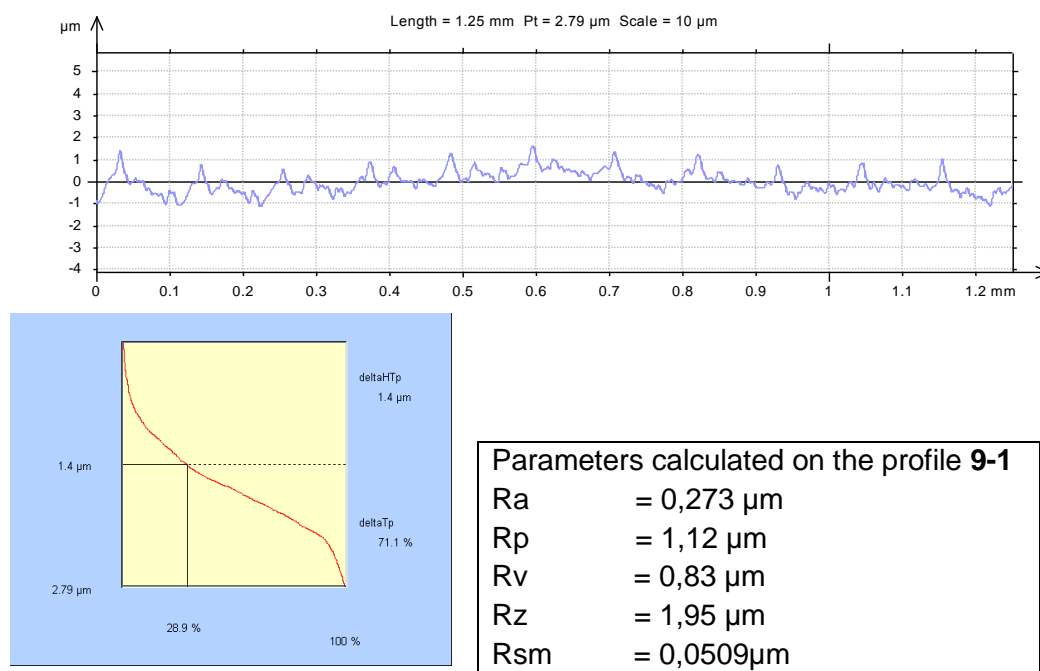
Figure 4.6.1.23: Measured roughness profile for experiment 8-2, obtained at  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)



Слика 4.6.1.24: Измерен профил за рапавост за експеримент 8-3, добиен при  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)

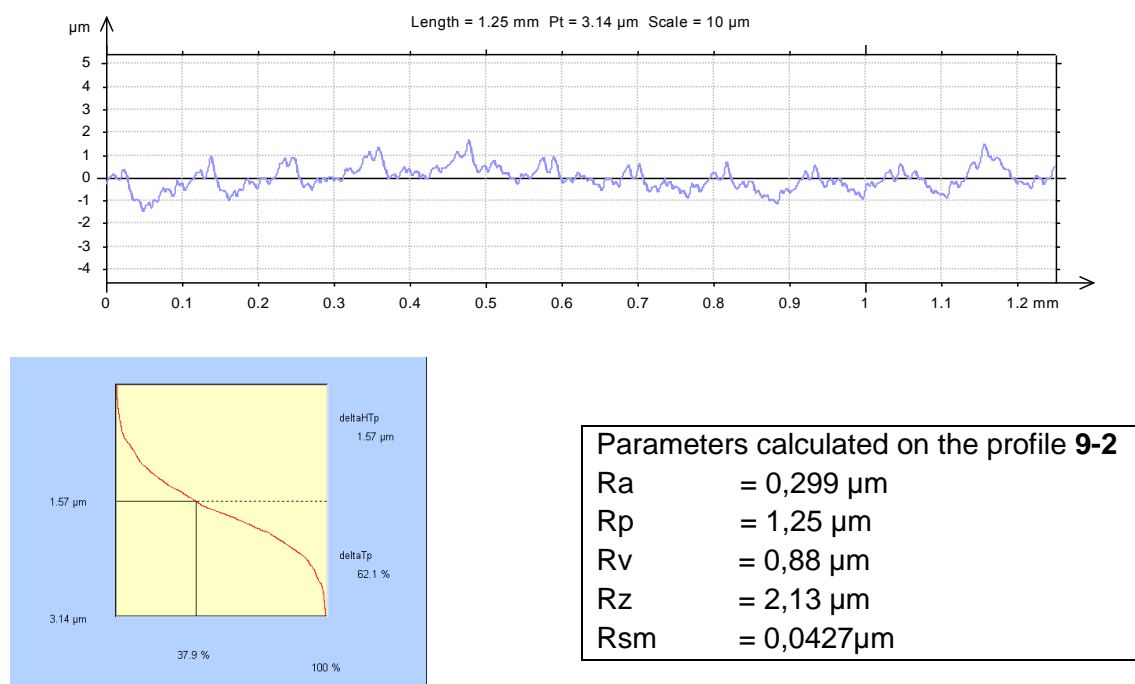
Figure 4.6.1.24: Measured roughness profile for experiment 8-3, obtained at  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 0,8$  (mm)





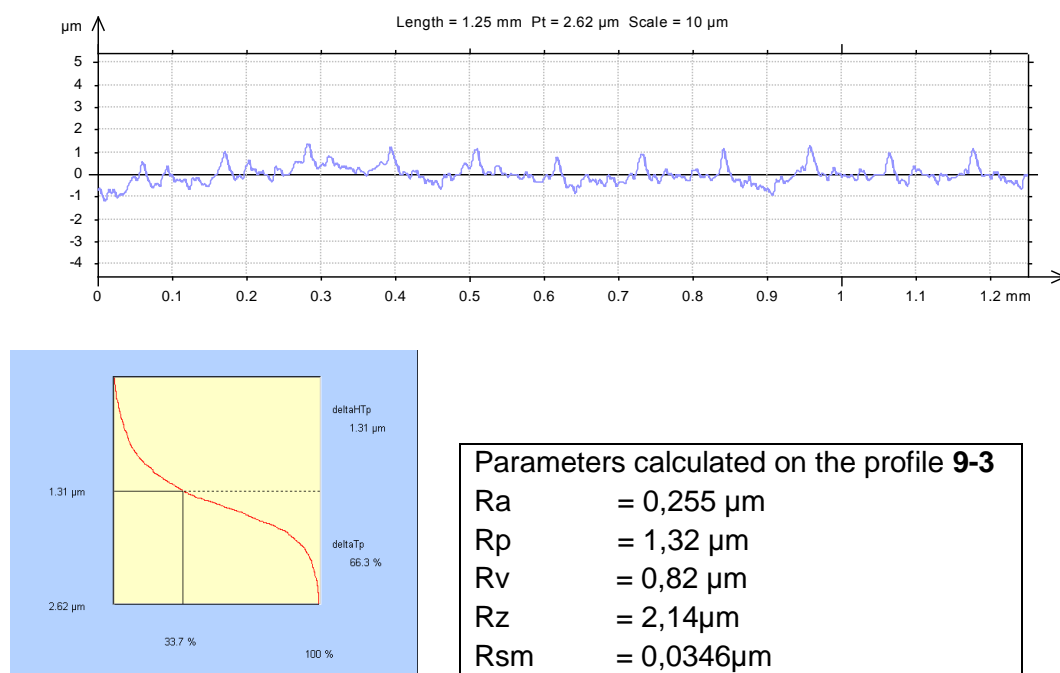
Слика 4.6.1.25: Измерен профил за рапавост за експеримент 9-1, добиен при  $v=67$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,4$  (mm);  $r_\epsilon=1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.25: Measured roughness profile for experiment 9-1, obtained at  $v=67$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,4$  (mm);  $r_\epsilon=1,6$  (mm)



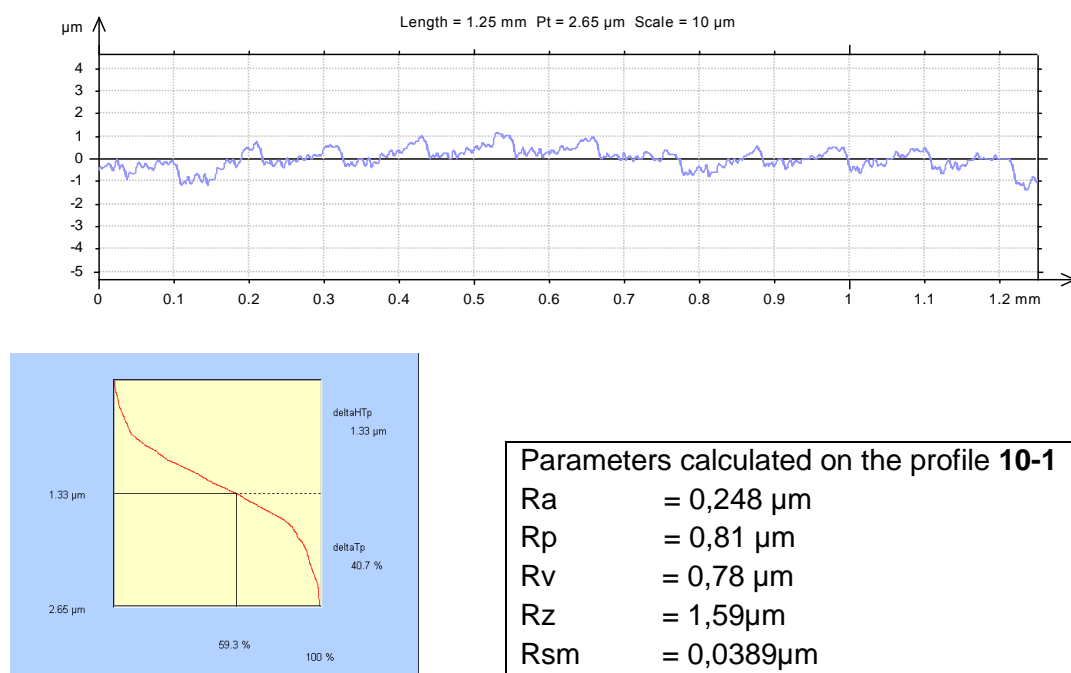
Слика 4.6.1.26: Измерен профил за рапавост за експеримент 9-2, добиен при  $v=67$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,4$  (mm);  $r_\epsilon=1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.26: Measured roughness profile for experiment 9-2, obtained at  $v=67$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,4$  (mm);  $r_\epsilon=1,6$  (mm)



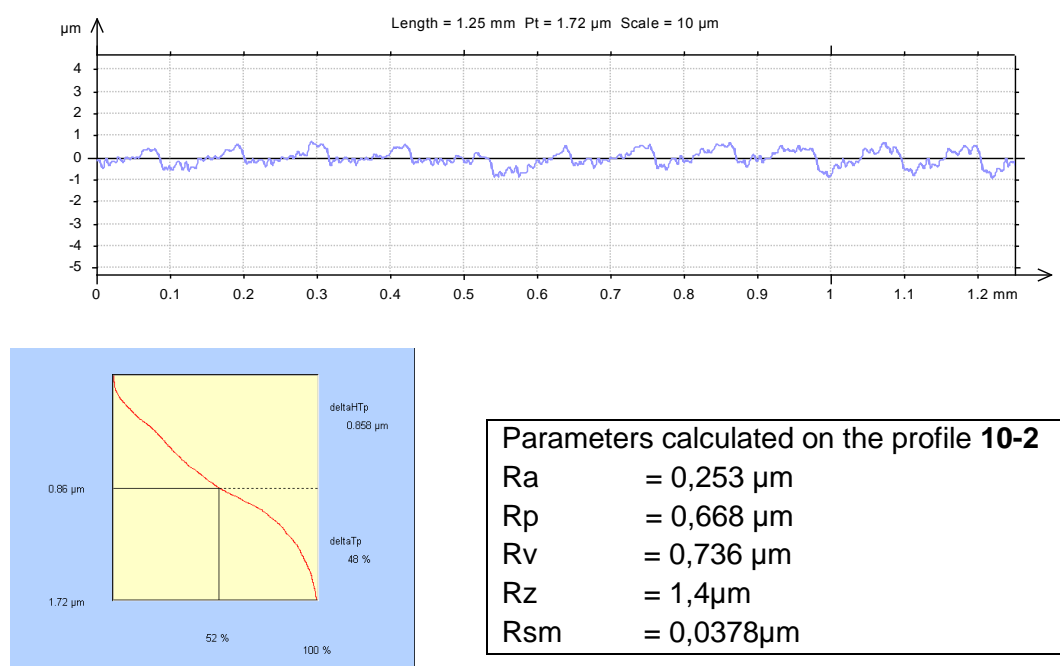
Слика 4.6.1.27: Измерен профил за рапавост за експеримент 9-2, добиен при  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_{\epsilon} = 1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.27: Measured roughness profile for experiment 9-2, obtained at  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_{\epsilon} = 1,6$  (mm)

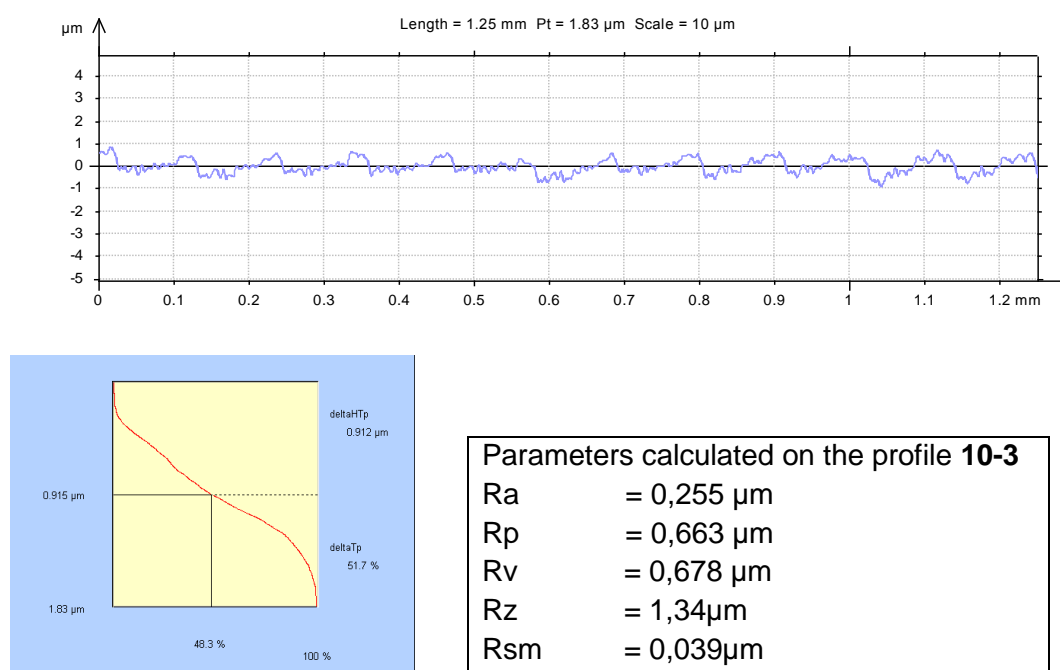


Слика 4.6.1.28: Измерен профил за рапавост за експеримент 10-1, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_{\epsilon} = 1,6$  (mm)

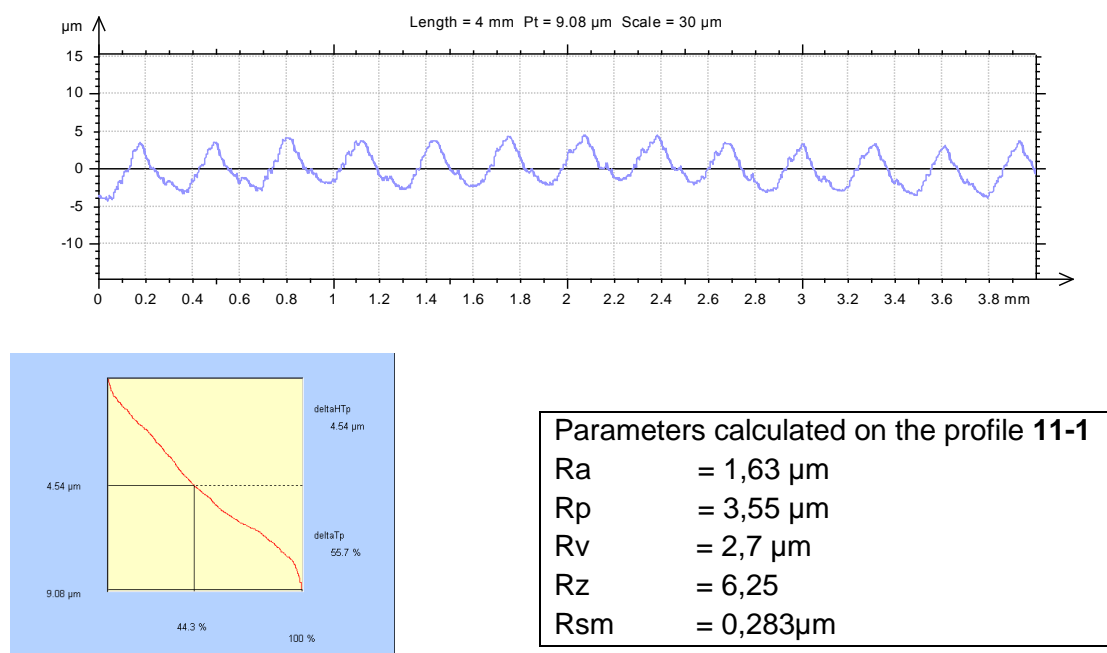
Figure 4.6.1.28: Measured roughness profile for experiment 10-1, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_{\epsilon} = 1,6$  (mm)



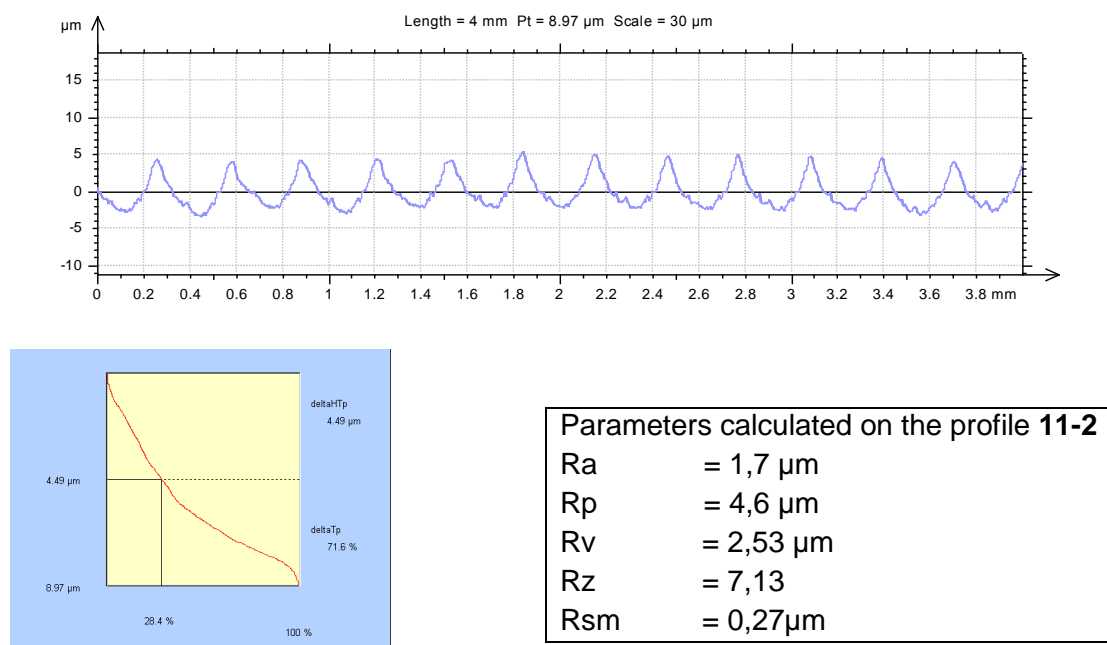
Слика 4.6.1.29: Измерен профил за рапавост за експеримент 10-2, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.29: Measured roughness profile for experiment 10-2, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



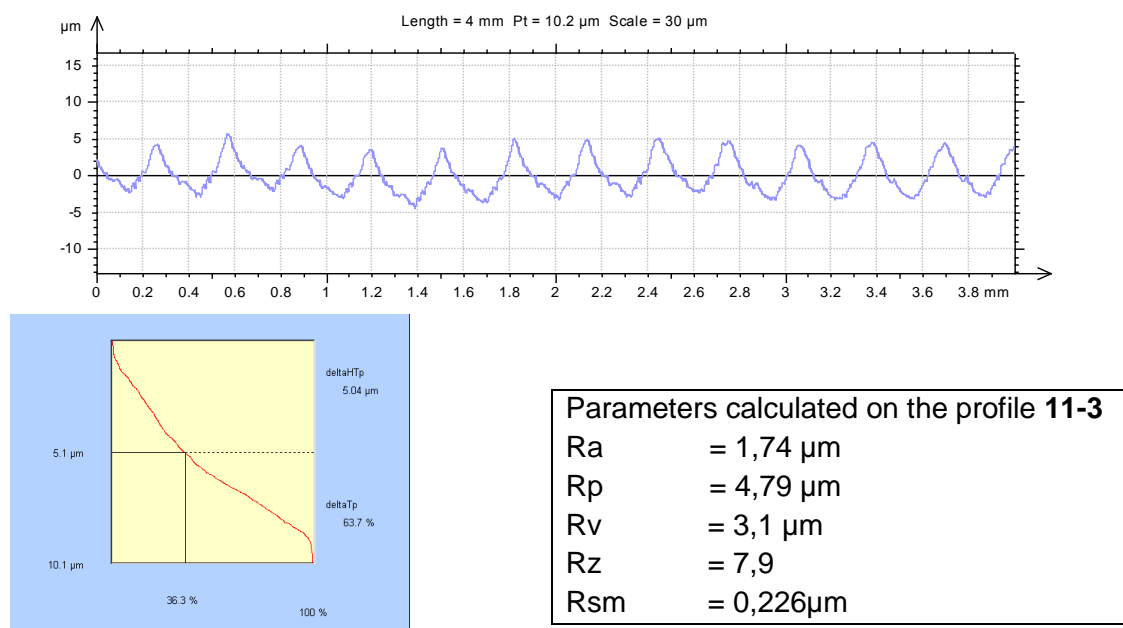
Слика 4.6.1.30: Измерен профил за рапавост за експеримент 10-3, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt.);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.30: Measured roughness profile for experiment 10-3, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



Слика 4.6.1.31: Измерен профил за рапавост за експеримент 11-1, добиен при  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.31: Measured roughness profile for experiment 11-1, obtained at  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

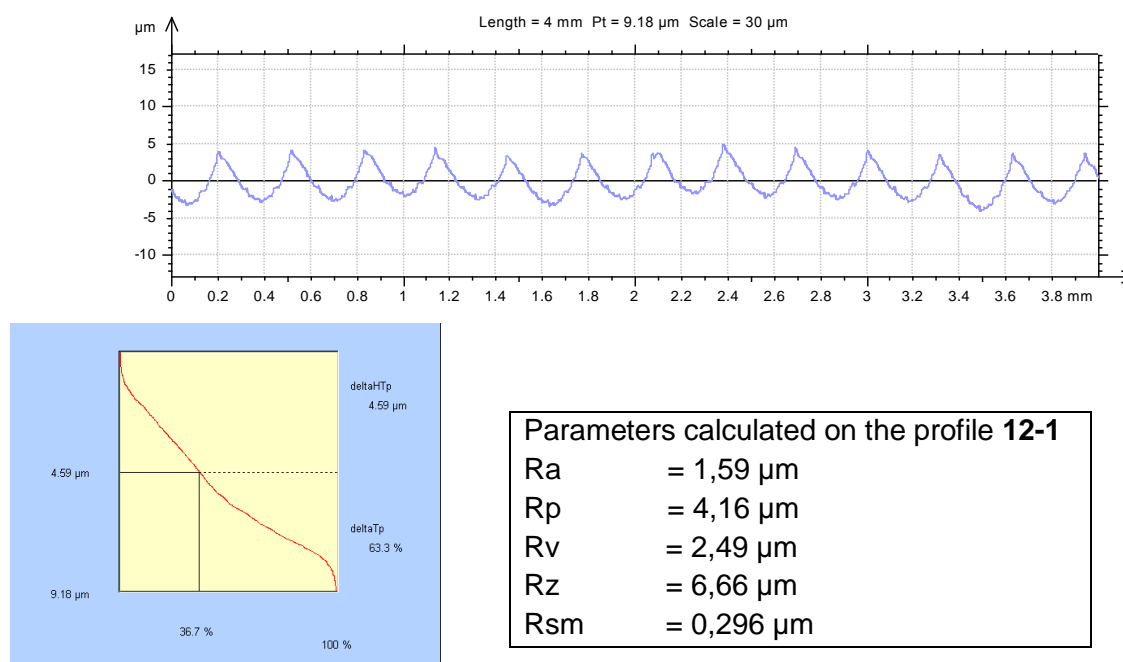


Слика 4.6.1.32: Измерен профил за рапавост за експеримент 11-1, добиен при  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.32: Measured roughness profile for experiment 11-1, obtained at  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



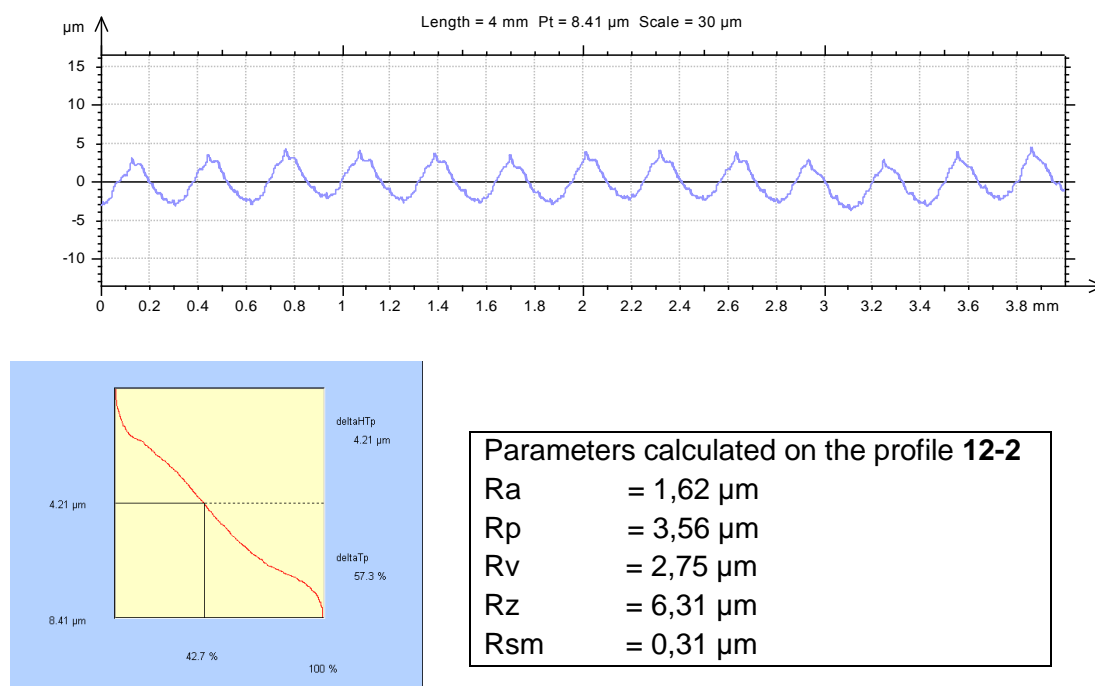
Слика 4.6.1.33: Измерен профил за рапавост за експеримент 11-1, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.33: Measured roughness profile for experiment 11-1, obtained at  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

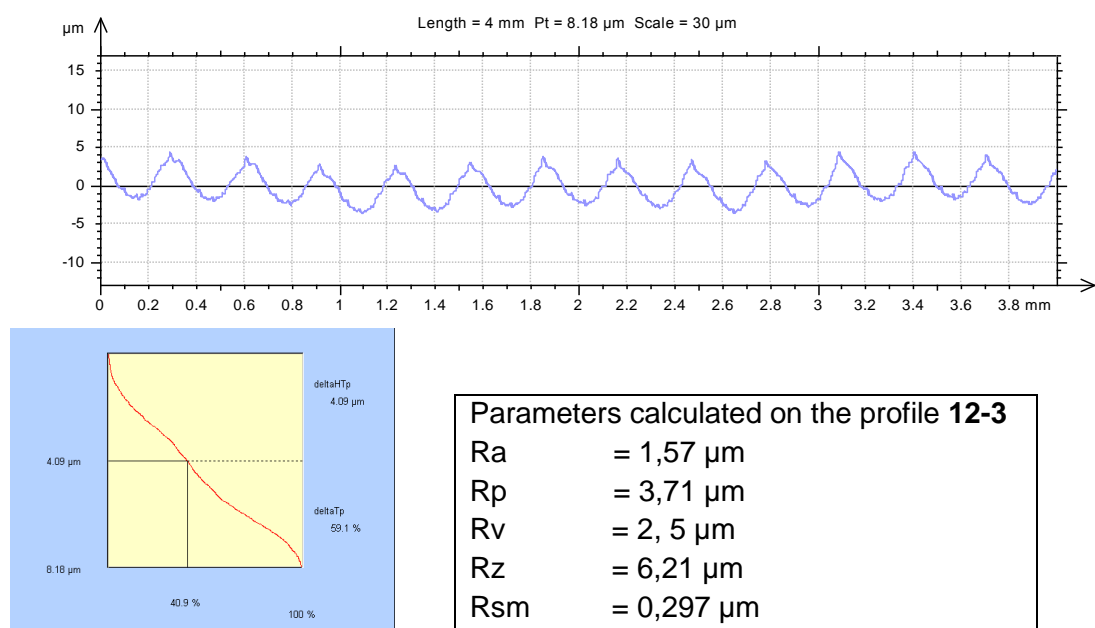


Слика 4.6.1.34: Измерен профил за рапавост за експеримент 12-1, добиен при  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

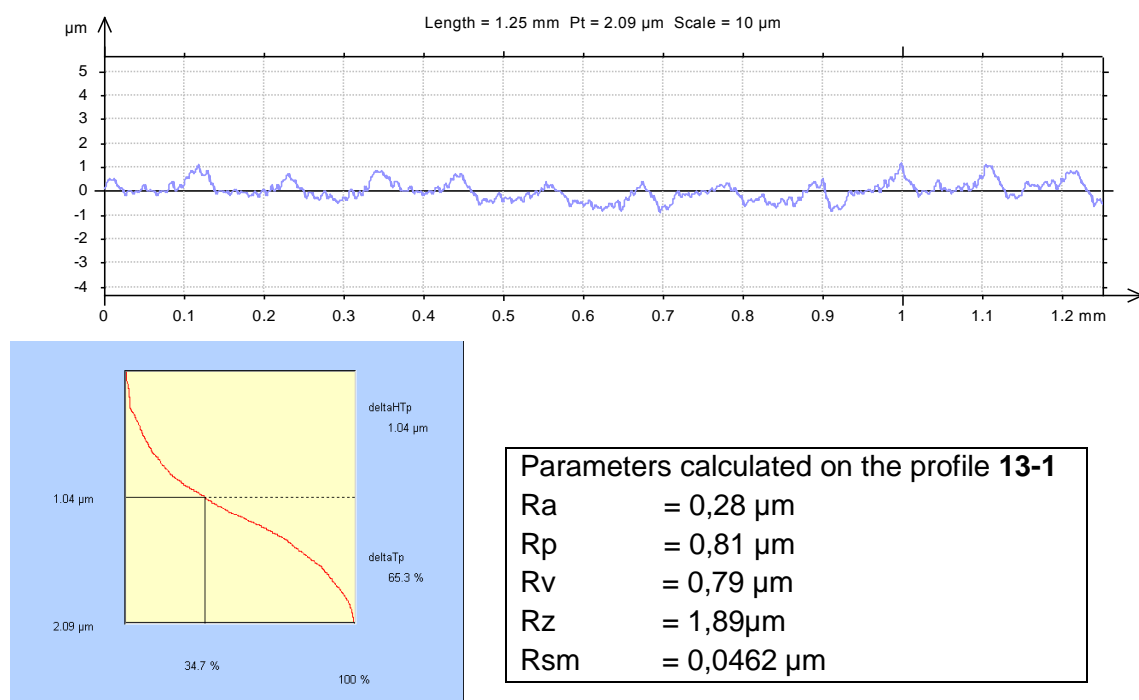
Figure 4.6.1.34: Measured roughness profile for experiment 12-1, obtained at  $v = 133$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



Слика 4.6.1.35: Измерен профил за рапавост за експеримент 12-2, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.35: Measured roughness profile for experiment 12-2, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

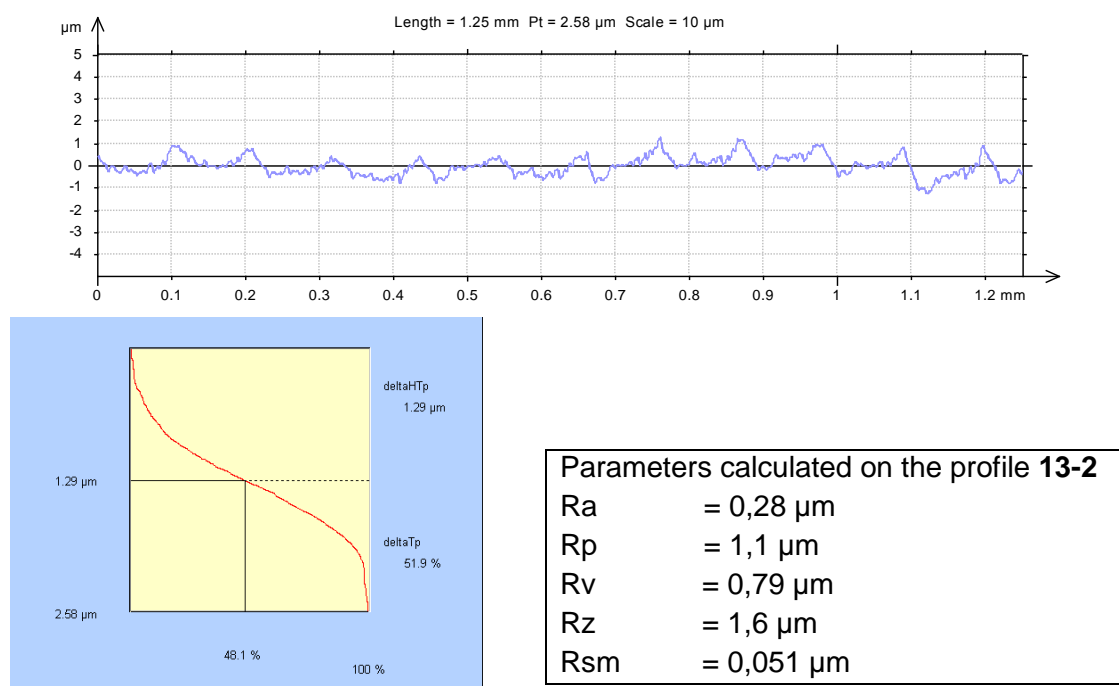


Слика 4.6.1.36: Измерен профил за рапавост за експеримент 12-3, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.36: Measured roughness profile for experiment 12-3, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,4$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



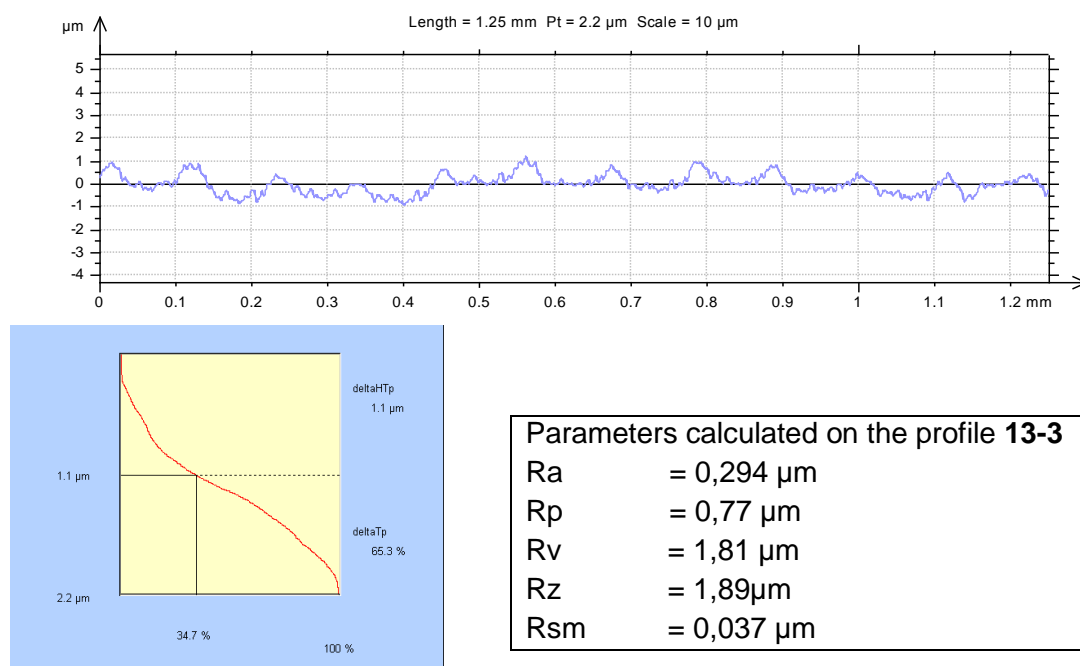
Слика 4.6.1.37: Измерен профил за рапавост за експеримент 13-1, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.37: Measured roughness profile for experiment 13-1, obtained at  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



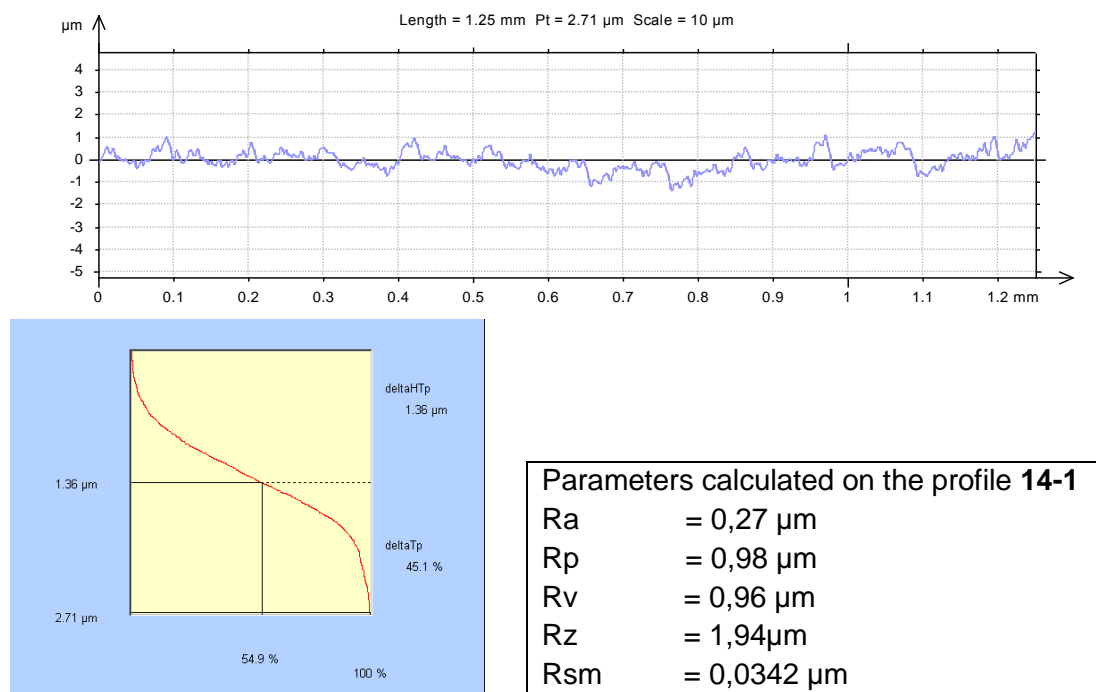
Слика 4.6.1.38: Измерен профил за рапавост за експеримент 13-2, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.38: Measured roughness profile for experiment 13-2, obtained at  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



Слика 4.6.1.39: Измерен профил за рапавост за експеримент 13-3, добиен при  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

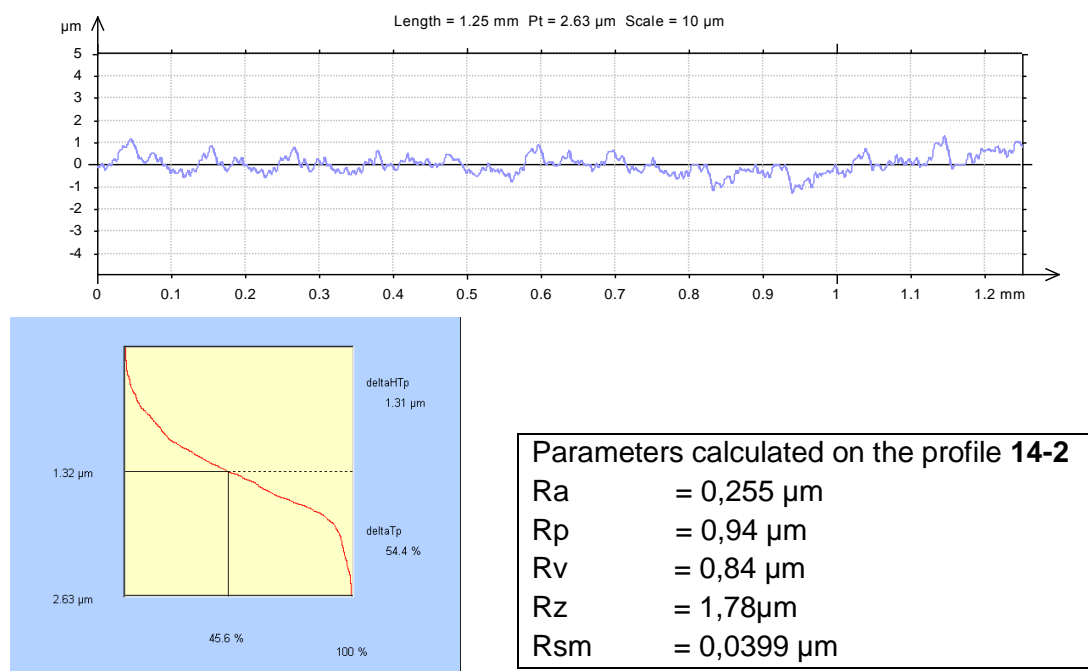
Figure 4.6.1.39: Measured roughness profile for experiment 13-3, obtained at  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt.);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



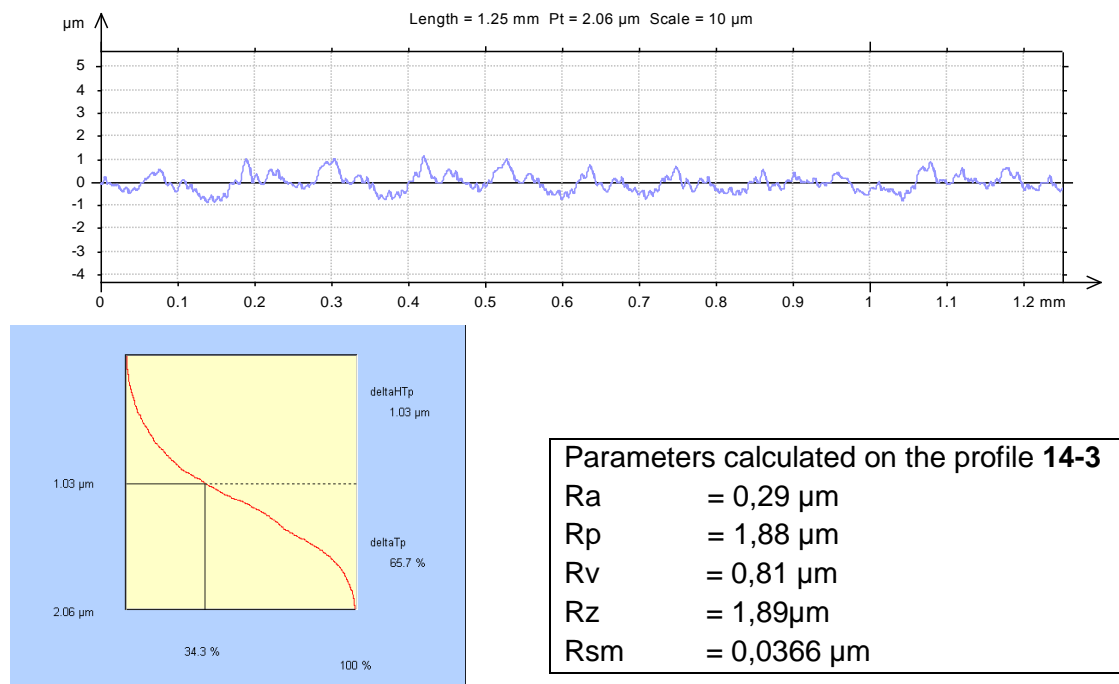
Слика 4.6.1.40: Измерен профил за рапавост за експеримент 14-1, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.40: Measured roughness profile for experiment 14-1, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0.1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

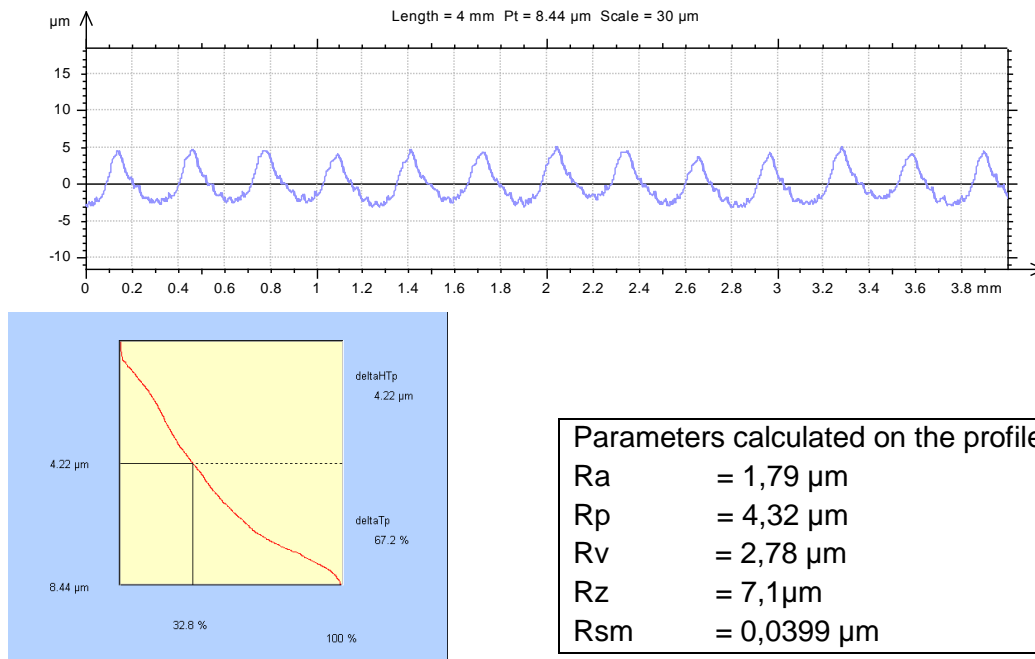




Слика 4.6.1.41: Измерен профил за рапавост за експеримент 14-2, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.41: Measured roughness profile for experiment 14-2, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_{\epsilon} = 1,6$  (mm)

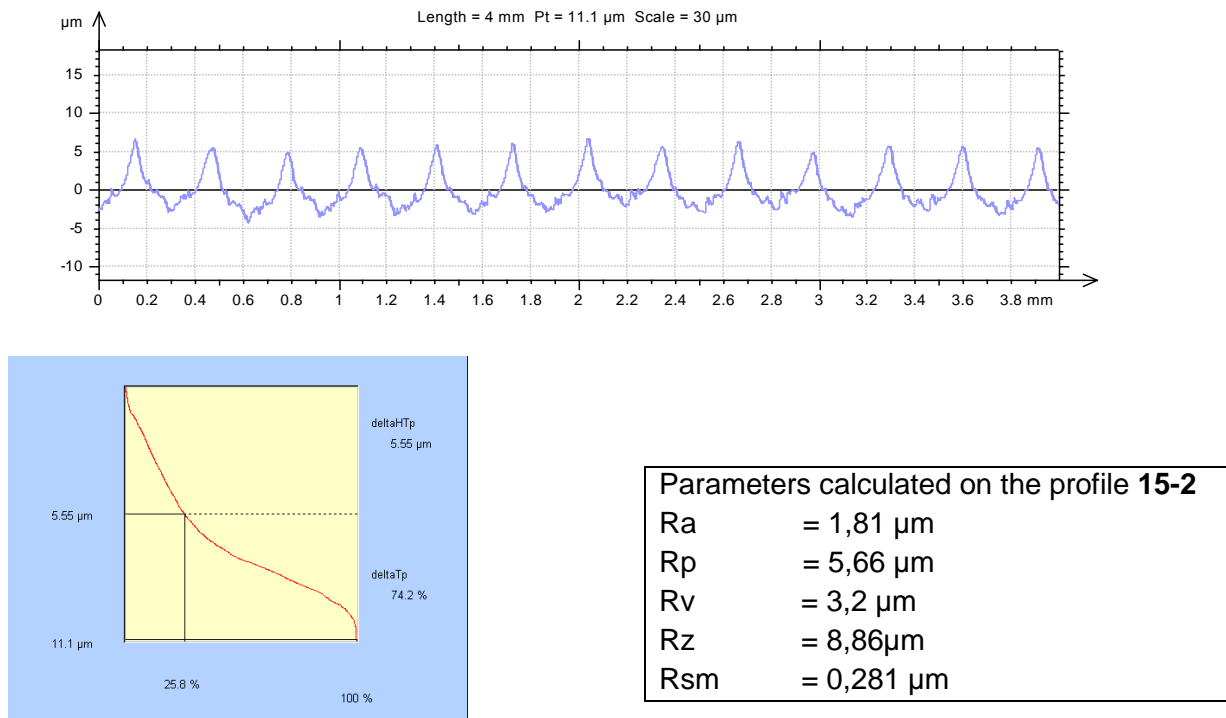


Слика 4.6.1.42: Измерен профил за рапавост за експеримент 14-3, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f=0,1$  (mm/vrt);  $a=0,8$  (mm);  $r_{\epsilon}=1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.42: Measured roughness profile for experiment 14-3, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,1$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_{\epsilon} = 1.6$  (mm)



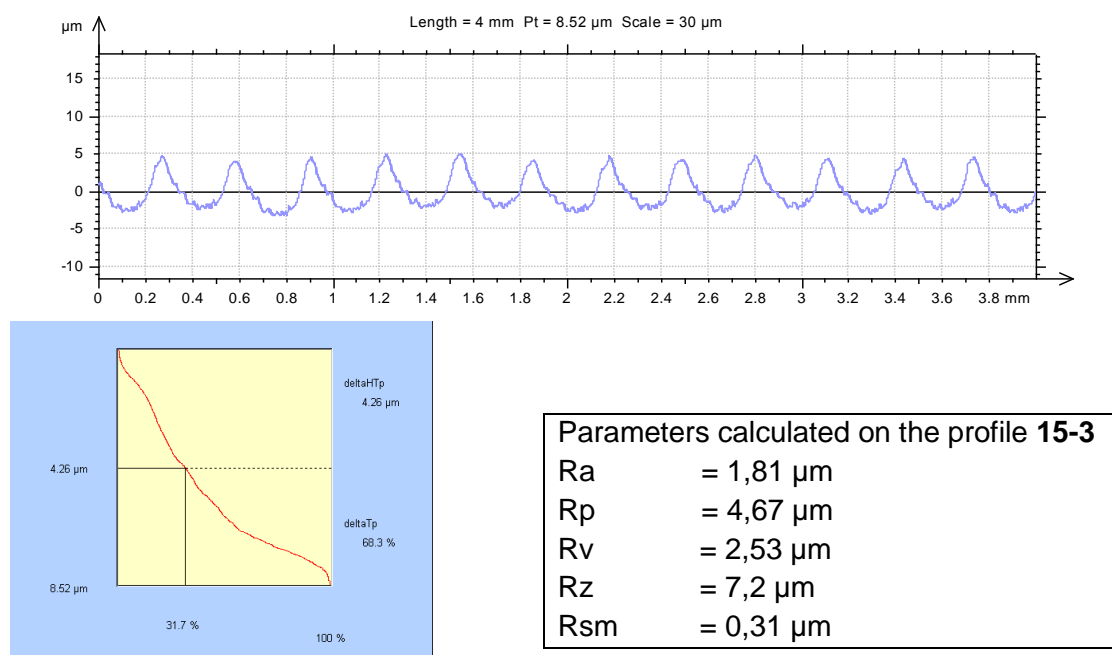
Слика 4.6.1.43: Измерен профил за рапавост за експеримент 15-1, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

Figure 4.6.1.43: Measured roughness profile for experiment 15-1, obtained at  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

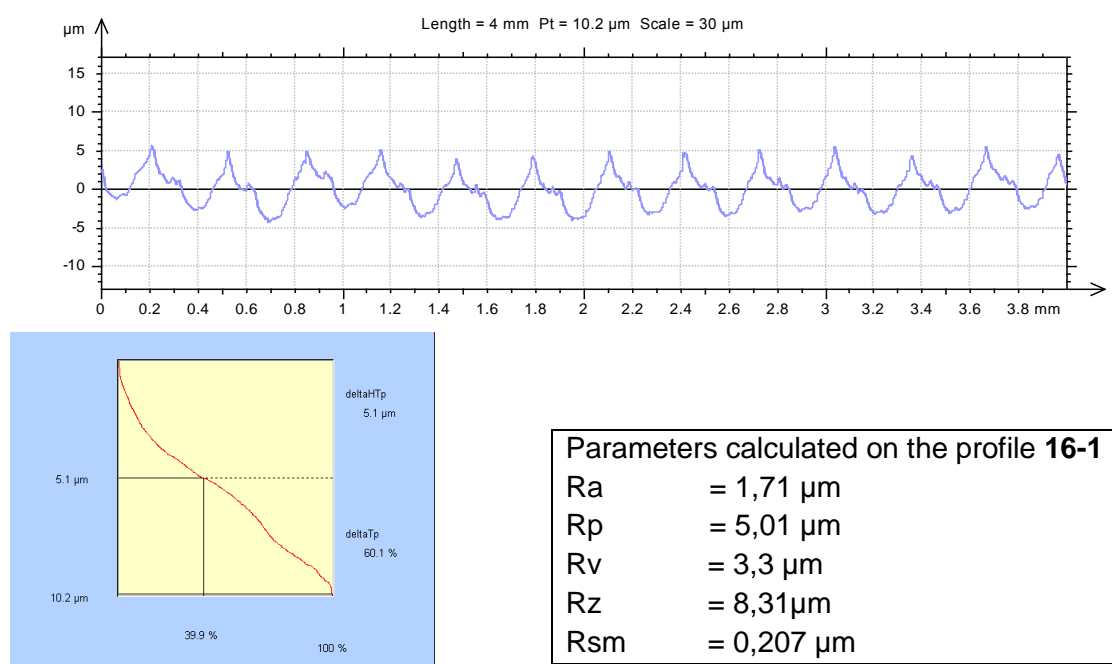


Слика 4.6.1.44: Измерен профил за рапавост за експеримент 15-2, добиен при  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

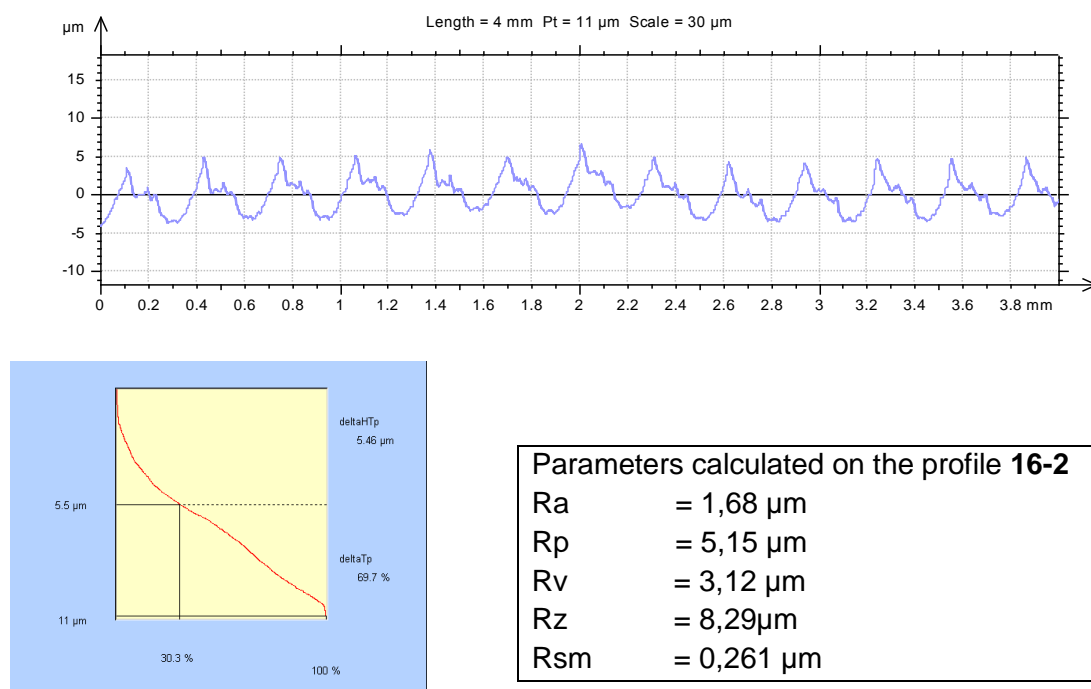
Figure 4.6.1.44: Measured roughness profile for experiment 15-2, obtained at  $v = 67$  (m/min);  $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



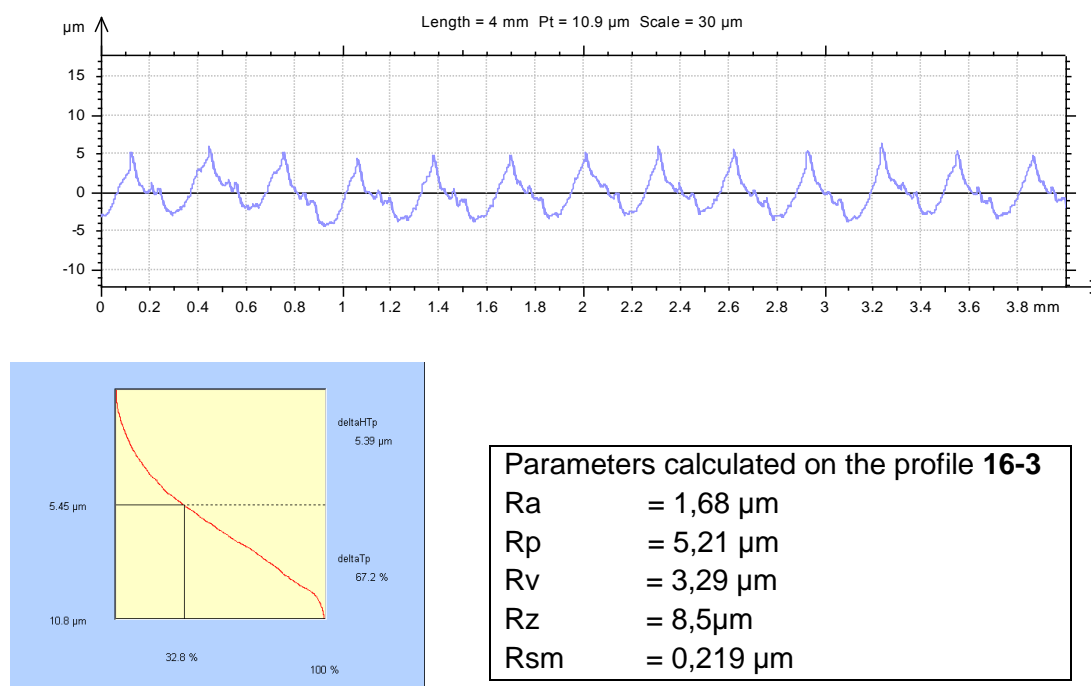
Слика 4.6.1.45: Измерен профил за рапавост за експеримент 15-3, добиен при  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.45: Measured roughness profile for experiment 15-3, obtained at  $v = 67$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



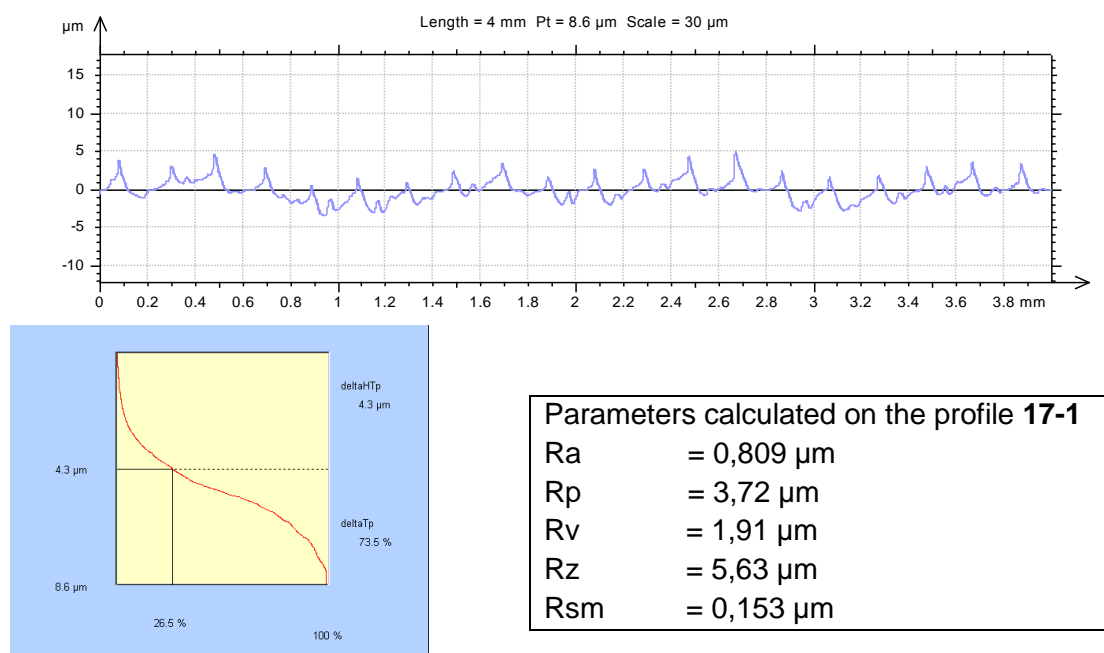
Слика 4.6.1.46: Измерен профил за рапавост за експеримент 16-1, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.46: Measured roughness profile for experiment 16-1, obtained at  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



Слика 4.6.47: Измерен профил за рапавост за експеримент 16-2, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.47: Measured roughness profile for experiment 16-2, obtained at  $v = 133$  (m/min)  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)

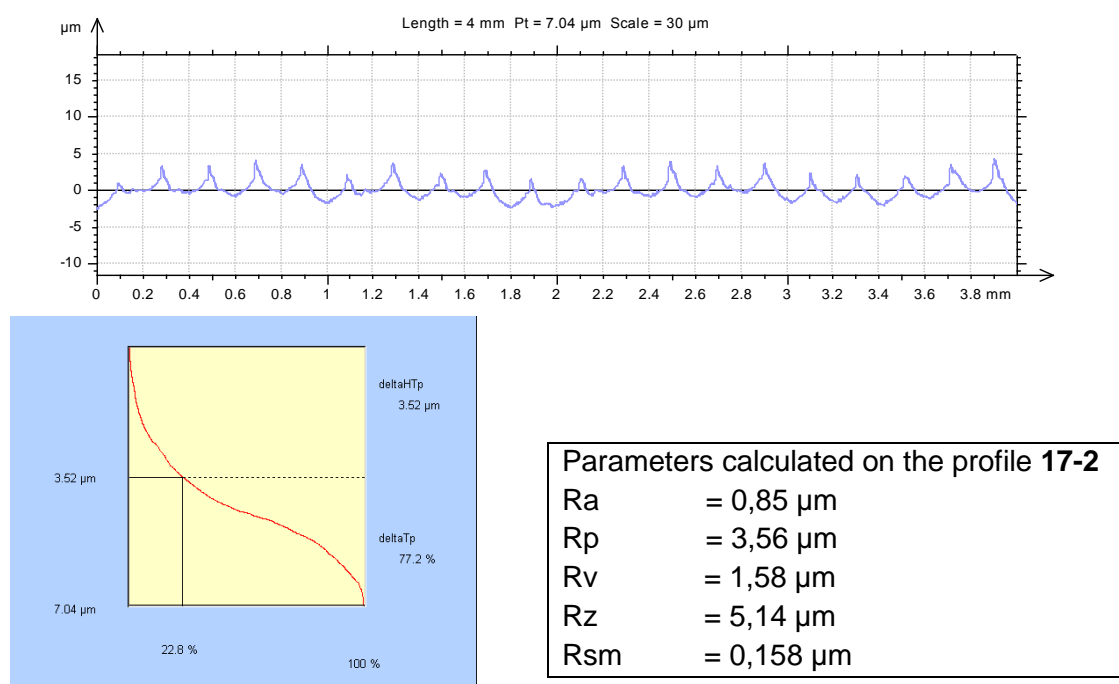


Слика 4.6.1.4.8: Измерен профил за рапавост за експеримент 16-3, добиен при  $v = 133$  (m/min);  
 $f = 0,315$  (mm/vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)  
 Figure 4.6.1.4.8: Measured roughness profile for experiment 16-3, obtained at  $v = 133$  (m min);  
 $f = 0,315$  (mm vrt);  $a = 0,8$  (mm);  $r_\epsilon = 1,6$  (mm)



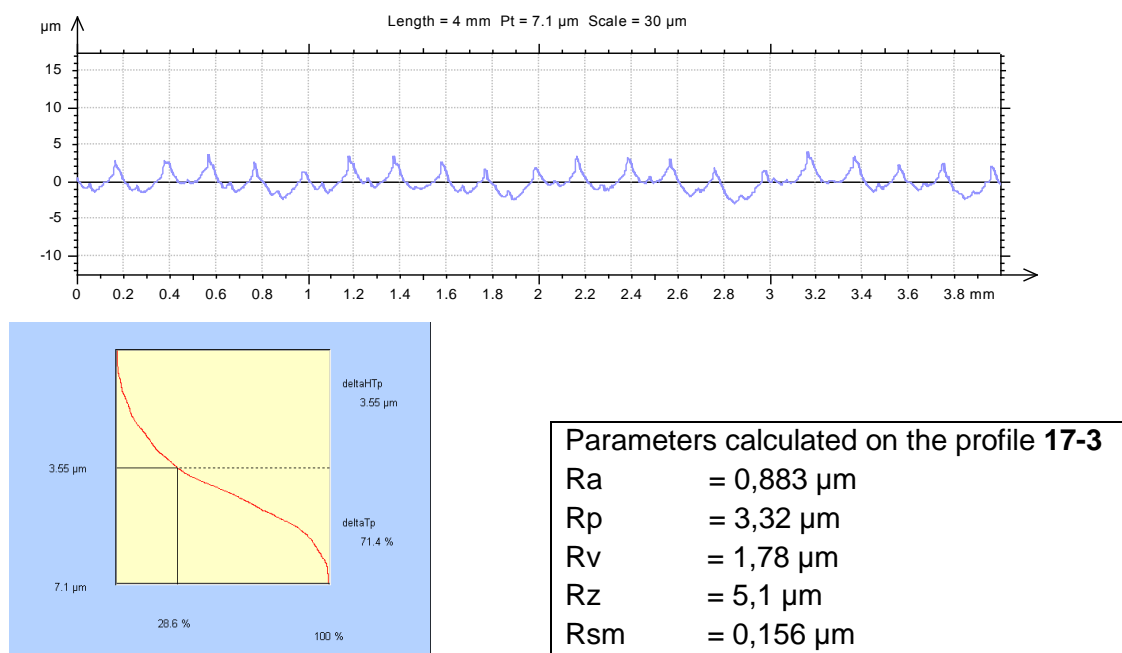
Слика 4.4.6.1.49: Измерен профил за рапавост за експеримент 17-1, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

Figure 4.6.1.1.49: Measured roughness profile for experiment 17-1, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

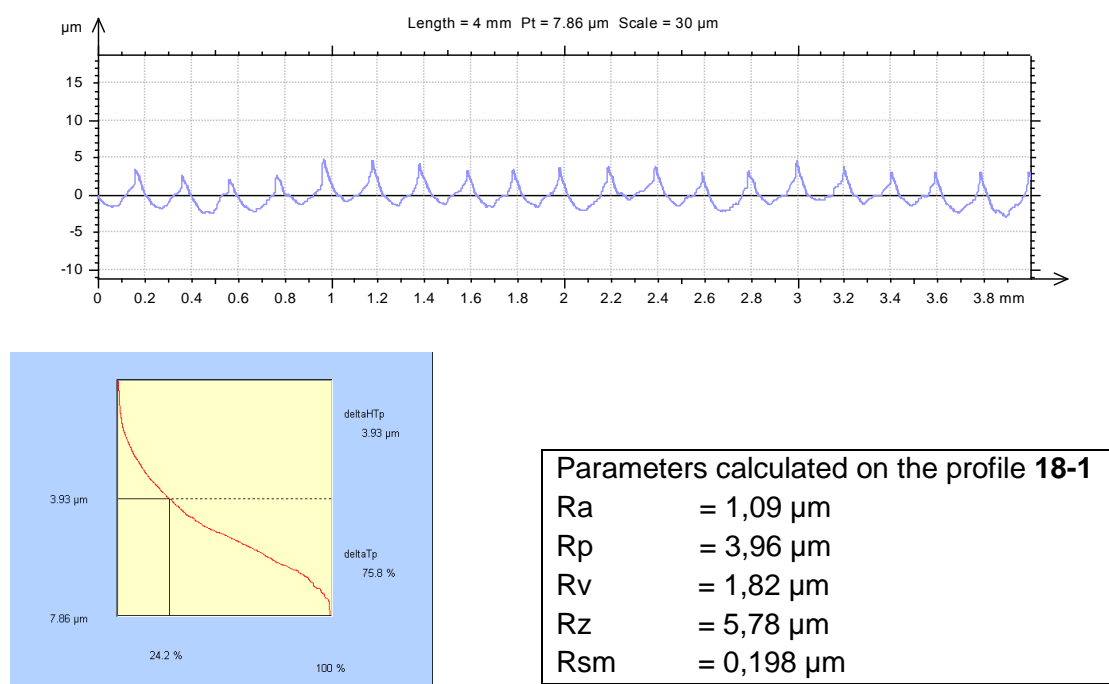


Слика 4.6.1.50: Измерен профил за рапавост за експеримент 17-2, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

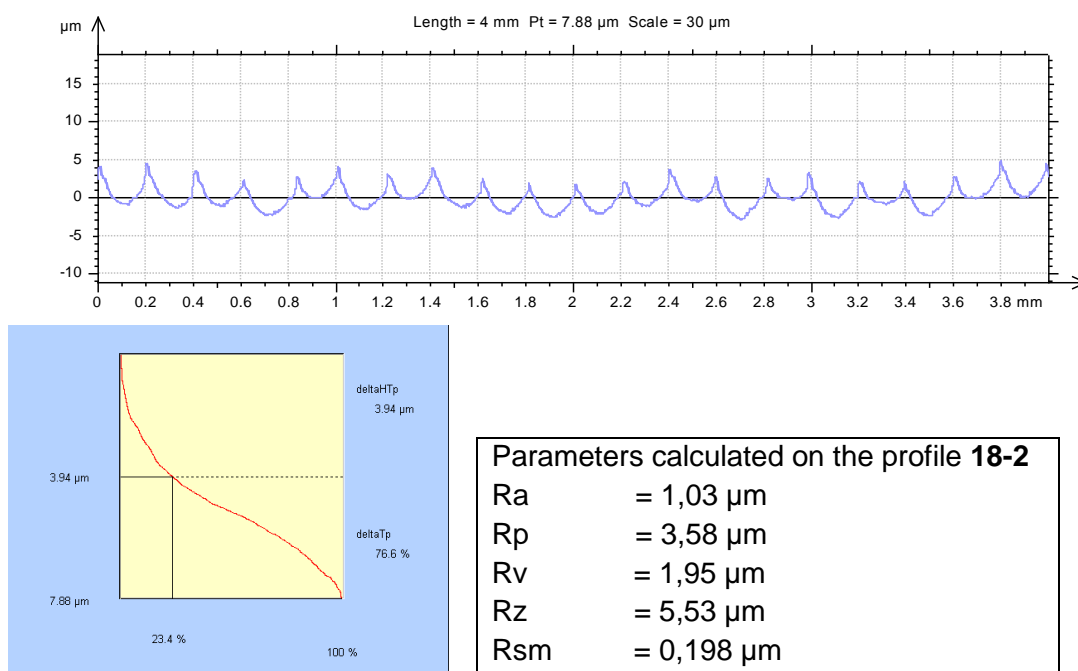
Figure 4.6.1.50: Measured roughness profile for experiment 17-2, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt.);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)



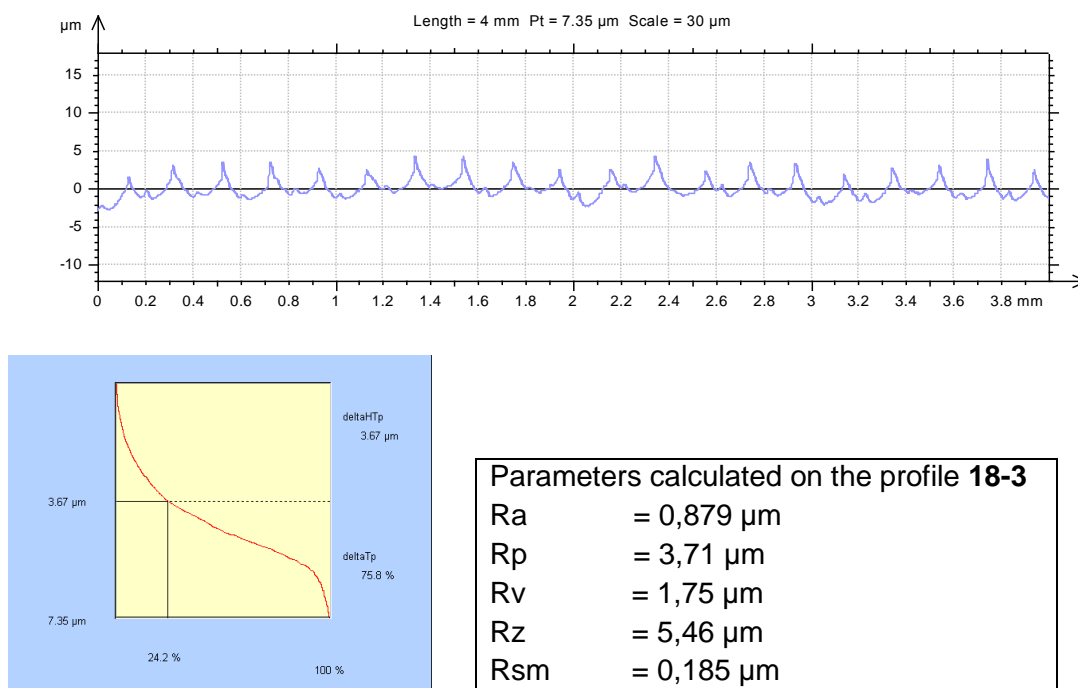
Слика 4.6.1.51: Измерен профил за рапавост за експеримент 17-3, добиен при  $v = 94$  (m/min);  
 $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)  
 Figure 4.6.1.51. Measured roughness profile for experiment 17-3, obtained at  $v = 94$  (m/min);  
 $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)



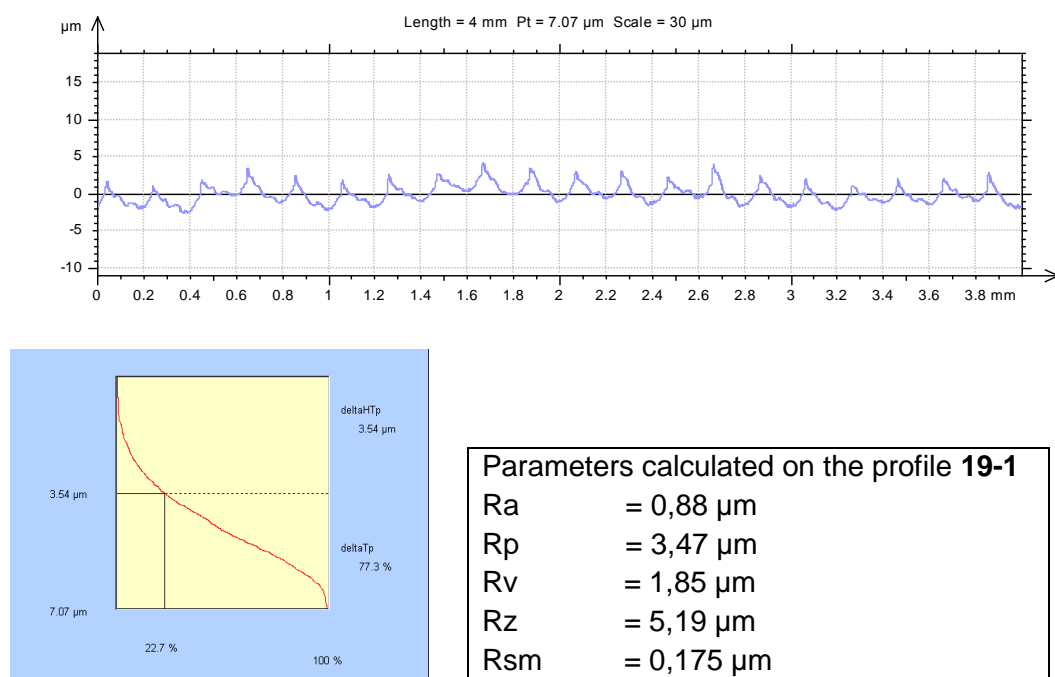
Слика 4.6.1.52: Измерен профил за рапавост за експеримент 18-1, добиен при  $v = 94$  (m/min);  
 $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)  
 Figure 4.6.1.52: Measured roughness profile for experiment 17-3, obtained at  $v = 94$  (m/min);  
 $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)



Слика 4.6.1.51: Измерен профил за рапавост за експеримент 18-2, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm).  
 Figure 4.6.1.53: Measured roughness profile for experiment 12-3, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

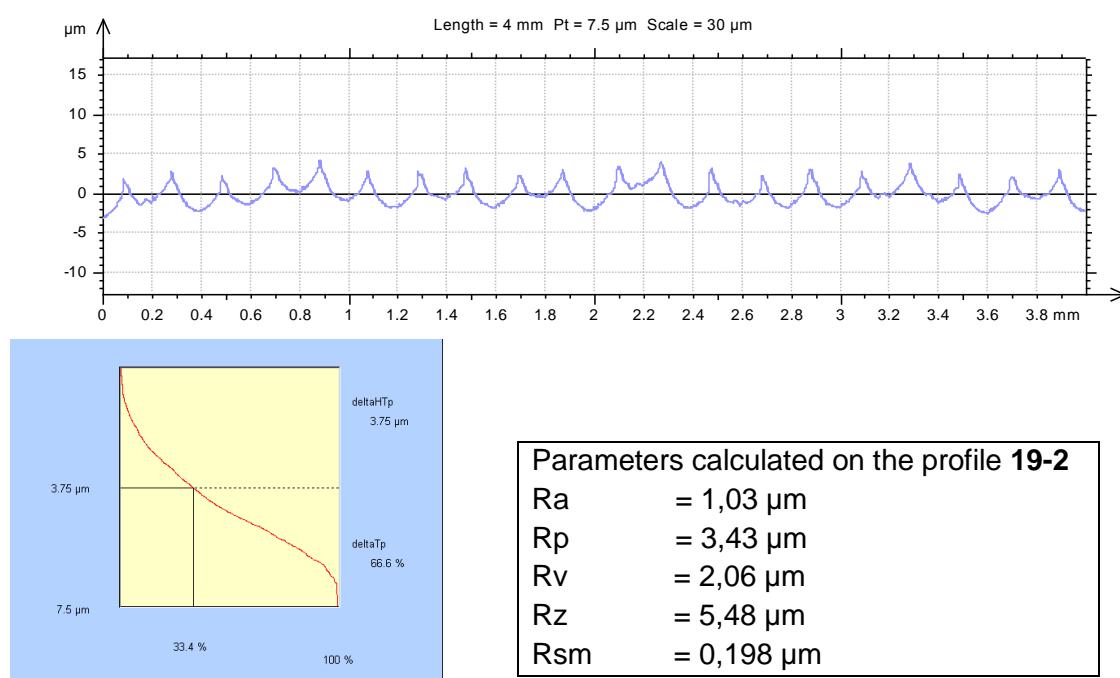


Слика 4.6.1.54: Измерен профил за рапавост за експеримент 18-3, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm).  
 Figure 4.6.1.54: Measured roughness profile for experiment 18-3, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)



Слика 4.6.1.55: Измерен профил за рапавост за експеримент 19-1, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt),  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

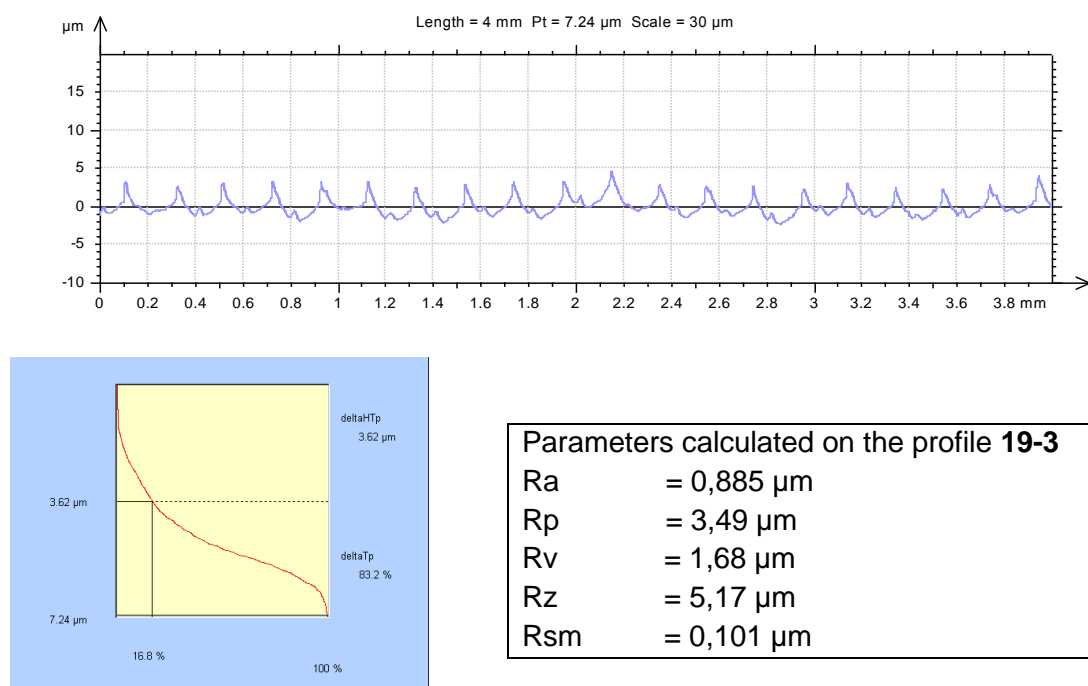
Figure 4.6.1.55: Measured roughness profile for experiment 19-1, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt),  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)



Слика 4.6.1.56. Измерен профил за рапавост за експеримент 19-2, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

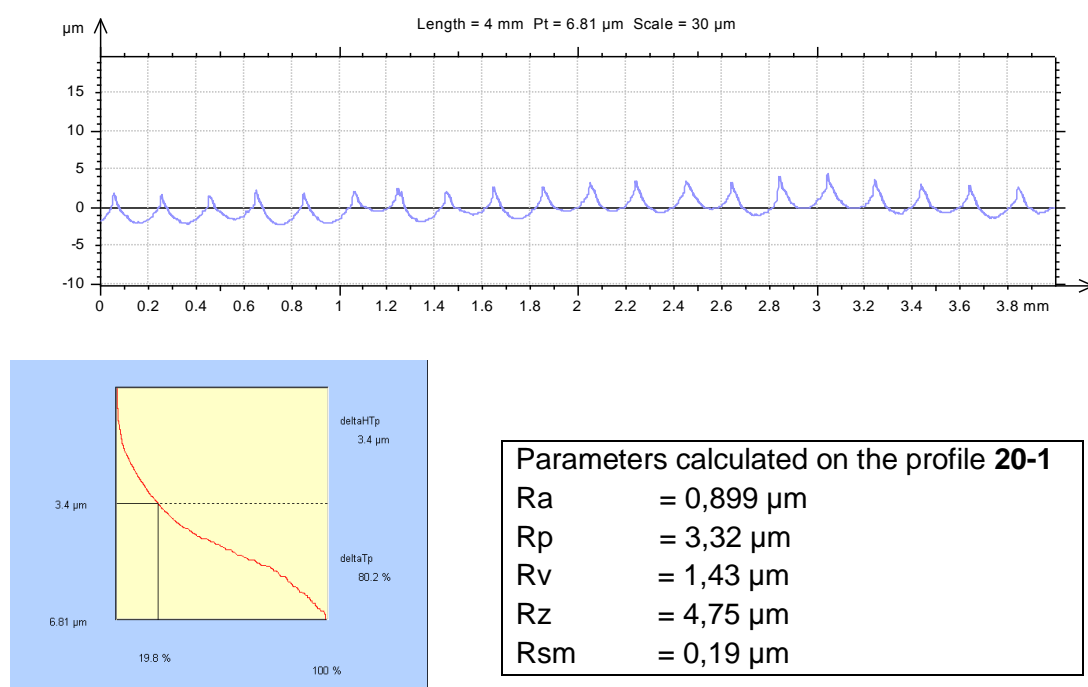
Figure 4.6.1.56. Measured roughness profile for experiment 19-2, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)





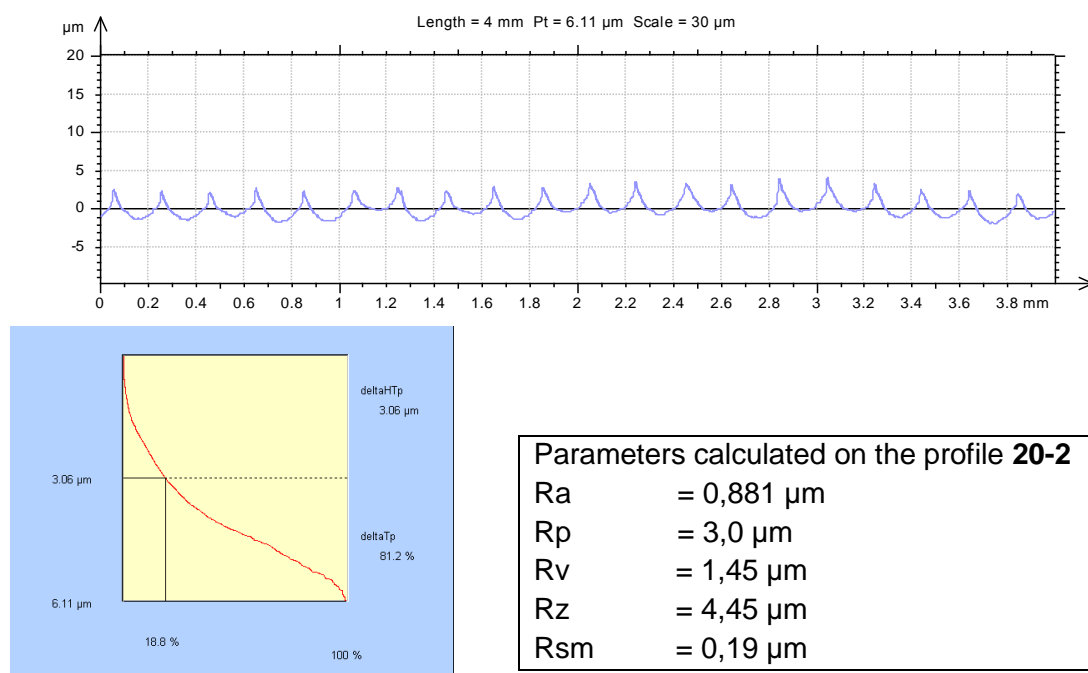
Слика 4.6.1.57: Измерен профил за рапавост за експеримент 19-3, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

Figure 4.4.1.57: Measured roughness profile for experiment 19-3, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)



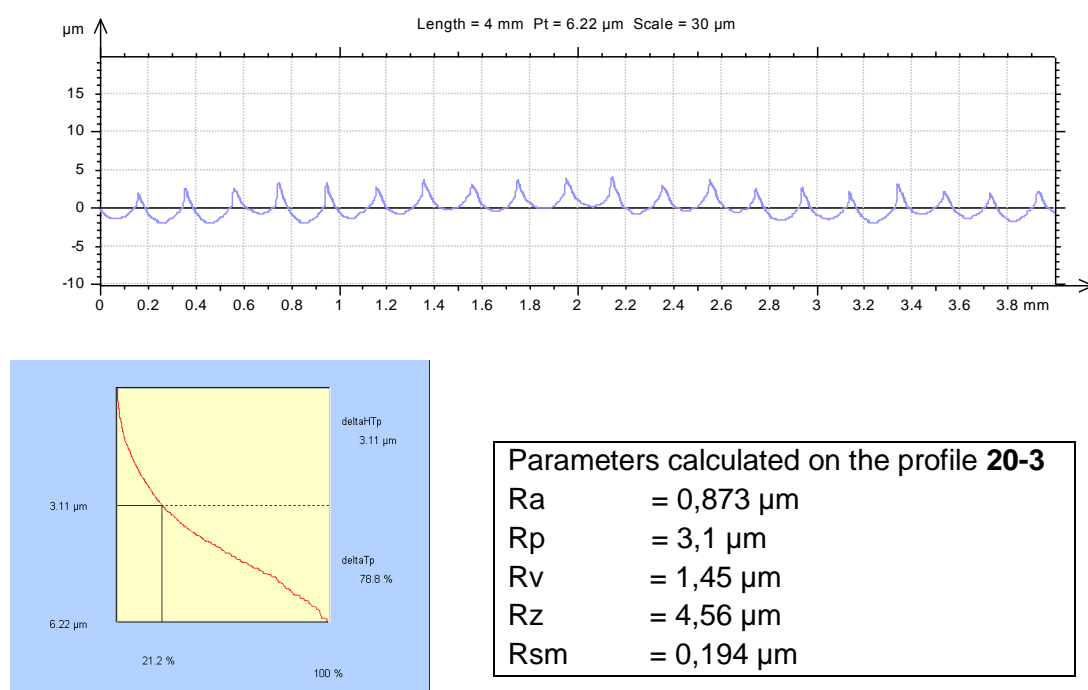
Слика 4.6.1.58: Измерен профил за рапавост за експеримент 20-1, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)

Figure 4.6.1.58: Measured roughness profile for experiment 20-1, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_\epsilon = 1,2$  (mm)



Слика 4.6.1.59: Измерен профил за рапавост за експеримент 20-2, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_e = 1,2$  (mm)

Figure 4.6.1.59: Measured roughness profile for experiment 20-2, obtained at  $v = 94$  (m / min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_e = 1,2$  (mm)



Слика 4.6.1.60: Измерен профил за рапавост за експеримент 20-3, добиен при  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_e = 1,2$  (mm)

Figure 4.6.1.60: Measured roughness profile for experiment 20-3, obtained at  $v = 94$  (m/min);  $f = 0,18$  (mm/vrt);  $a = 0,56$  (mm);  $r_e = 1,2$  (mm)

### 5.1.2. Истражување на параметарот Rp

Табела 5.1.2.1: Истражување на параметарот Rp

Table 5.1.2.1: Research Rp parameters

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕЗАВИСНО ПРОМЕНЛИВИТЕ ГОЛЕМИНИ					
Број	Означување	Ниво	Максимално	Средно	Минимално
		Код	1	0	-1
1.	$v$ (mm/min.)	X 1	133.00	94.398	67.00
2.	$f$ (mm/vrt.)	X 2	0.315	0.177	0.1
3.	$a$ (mm)	X 3	0.8	0.566	0.4
4.	$r_{\varepsilon}$ (mm)	X 4	1.6	1.131	0.8

Табела 5.1.2.2: Четирифакторен план на експерименти од прв ред

Table 5.1.2.2: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД					
Ред. број	Реална план матрица - независно променливи големина				Измерена вредност
	$v$ (m/min.)	$f$ (mm/vr.)	$a$ (mm)	$r_{\varepsilon}$ (mm)	$R_p$ (um)
1.	67,00	0,1	0,4	0,8	1,730
2.	133,00	0,1	0,4	0,8	1,817
3.	67,00	0,315	0,4	0,8	10,333
4.	133,00	0,315	0,4	0,8	9,687
5.	67,00	0,1	0,8	0,8	2,183
6.	133,00	0,1	0,8	0,8	1,360
7.	67,00	0,315	0,8	0,8	10,133
8.	133,00	0,315	0,8	0,8	9,980
9.	67,00	0,1	0,4	1,6	1,230
10.	133,00	0,1	0,4	1,6	0,714
11.	67,00	0,315	0,4	1,6	4,313
12.	133,00	0,315	0,4	1,6	3,810
13.	67,00	0,1	0,8	1,6	0,983
14.	133,00	0,1	0,8	1,6	1,000
15.	67,00	0,315	0,8	1,6	4,883
16.	133,00	0,315	0,8	1,6	5,123
17.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	3,533
18.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	3,750
19.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	3,420
20.	94,00	0,77 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	3,140

Табела 5.1.2.3: Четирифакторен план на експерименти од прв ред  
Table 5.1.2.3: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД						
Ред. број	Кодирана план матрица					Измерена вредност
	X 0	X 1	X 2	X 3	X 4	Rp (um)
1.	1	-1	-1	-1	-1	1.730
2.	1	1	-1	-1	-1	1.817
3.	1	-1	1	-1	-1	10.333
4.	1	1	1	-1	-1	9.687
5.	1	-1	-1	1	-1	2.183
6.	1	1	-1	1	-1	1.360
7.	1	-1	1	1	-1	10.133
8.	1	1	1	1	-1	9.980
9.	1	-1	-1	-1	1	1.230
10.	1	1	-1	-1	1	0.714
11.	1	-1	1	-1	1	4.313
12.	1	1	1	-1	1	3.810
13.	1	-1	-1	1	1	0.983
14.	1	1	-1	1	1	1.000
15.	1	-1	1	1	1	4.883
16.	1	1	1	1	1	5.123
17.	1	0	0	0	0	3.533
18.	1	0	0	0	0	3.750
19.	1	0	0	0	0	3.420
20.	1	0	0	0	0	3.140

Табела 5.1.2.4: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1.2.4: Correlation of the input-output information about the mathematical model

КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$				
Ред. број	Измерена вредност $R_p (\mu m)$	Пресметковна вредност $R_p (\mu m)$	Грешка во (%)	95 % - Интервал на доверба
1.	1,730	1,974	-14,086	1,645 - 2,369
2.	1,817	1,719	5,410	1,432 - 2,063
3.	10,333	10,219	1,103	8,515 - 12,264
4.	9,687	8,899	8,137	7,415 - 10,679
5.	2,183	2,097	3,924	1,748 - 2,517
6.	1,360	1,826	-34,292	1,522 - 2,192
7.	10,133	10,859	-7,167	9,049 - 13,032
8.	9,980	9,456	5,248	7,880 - 11,348
9.	1,230	0,982	20,159	0,818 - 1,179
10.	0,714	0,855	-19,771	0,713 - 1,026
11.	4,313	5,085	-17,891	4,237 - 6,102
12.	3,810	4,428	-16,213	3,690 - 5,314
13.	0,983	1,044	-6,160	0,870 - 1,252
14.	1,000	0,909	9,126	0,757 - 1,091
15.	4,883	5,403	-10,652	4,502 - 6,484
16.	5,123	4,705	8,157	3,921 - 5,646
17.	3,533	3,047	13,746	2,829 - 3,283
18.	3,750	3,047	18,737	2,829 - 3,283
19.	3,420	3,047	10,896	2,829 - 3,283
20.	3,140	3,047	2,950	2,829 - 3,283

Табела 5.1.2.5: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1.2.5: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност <i>R<sub>p</sub></i> (um)</b>	<b>Пресметковна вредност <i>R<sub>p</sub></i> (um)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	1,730	2,035	-17,605	1,735 - 2,386
2.	1,817	1,772	2,492	1,511 - 2,078
3.	10,333	10,534	-1,948	8,982 - 12,355
4.	9,687	9,173	5,303	7,821 - 10,759
5.	2,183	2,035	6,799	1,735 - 2,386
6.	1,360	1,772	-30,273	1,511 - 2,078
7.	10,133	10,534	-3,960	8,982 - 12,355
8.	9,980	9,173	8,083	7,821 - 10,759
9.	1,230	1,012	17,697	0,863 - 1,187
10.	0,714	0,882	-23,466	0,752 - 1,034
11.	4,313	5,241	-21,527	4,469 - 6,147
12.	3,810	4,564	-19,798	3,892 - 5,353
13.	0,983	1,012	-2,984	0,863 - 1,187
14.	1,000	0,882	11,846	0,752 - 1,034
15.	4,883	5,241	-7,341	4,469 - 6,147
16.	5,123	4,564	10,906	3,892 - 5,353
17.	3,533	3,047	13,746	2,832 - 3,279
18.	3,750	3,047	18,737	2,832 - 3,279
19.	3,420	3,047	10,896	2,832 - 3,279
20.	3,140	3,047	2,950	2,832 - 3,279

Табела 5.1.2.6: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
 Table 5.1.2.6: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ <math>b(i)</math></b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност <math>R_p (\mu m)</math></b>	<b>Пресметковна вредност <math>R_p (\mu m)</math></b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	1,730	1,785	-3,179	1,508 - 2,112
2.	1,817	1,875	-3,179	1,584 - 2,218
3.	10,333	10,661	-3,179	9,010 - 12,616
4.	9,687	9,995	-3,179	8,46 - 11,827
5.	2,183	2,252	-3,179	1,903 - 2,665
6.	1,360	1,403	-3,179	1,186 - 1,660
7.	10,133	10,455	-3,179	8,835 - 12,372
8.	9,980	10,297	-3,179	8,702 - 12,185
9.	1,230	1,269	-3,179	1,072 - 1,502
10.	0,714	0,737	-3,179	0,623 - 0,872
11.	4,313	4,450	-3,179	3,761 - 5,266
12.	3,810	3,931	-3,179	3,322 - 4,652
13.	0,983	1,014	-3,179	0,857 - 1,200
14.	1,000	1,032	-3,179	0,872 - 1,221
15.	4,883	5,038	-3,179	4,258 - 5,962
16.	5,123	5,286	-3,179	4,467 - 6,255
17.	3,533	3,047	13,746	2,934 - 3,165
18.	3,750	3,047	18,737	2,934 - 3,165
19.	3,420	3,047	10,896	2,934 - 3,165
20.	3,140	3,047	2,950	2,934 - 3,165

Табела 5.1.2.7: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1.2.7: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
Ред. број	Измерена вредност <i>R<sub>p</sub></i> (um)	Пресметковна вредност <i>R<sub>p</sub></i> (um)	Грешка во (%)	95 % - Интервал на доверба
1.	1,730	1,777	-2,711	1,524 - 2,072
2.	1,817	2,029	-11,,648	1,739 - 2,366
3.	10,333	10,374	-0,397	8,895 - 12,099
4.	9,687	9,315	3,840	7,987 - 10,864
5.	2,183	2,330	-6,716	1,997 - 2,717
6.	1,360	1,547	-13,775	1,327 - 1,805
7.	10,133	10,697	-5,566	9,172 - 12,476
8.	9,980	9,034	9,481	7,746 - 10,536
9.	1,230	1,159	5,762	0,994 - 1,352
10.	0,714	0,770	-7,829	0,660 - 0,898
11.	4,313	5,322	-23,405	4,563 - 6,208
12.	3,810	4,495	-17,976	3,854 - 5,242
13.	0,983	0,884	10,058	0,758 - 1,031
14.	1,000	1,009	-0,938	0,865 - 1,177
15.	4,883	5,162	-5,708	4,426 - 6,020
16.	5,123	4,635	9,529	3,974 - 5,406
17.	3,533	3,047	13,746	2,878 - 3,227
18.	3,750	3,047	18,737	2,878 - 3,227
19.	3,420	3,047	10,896	2,878 - 3,227
20.	3,140	3,047	2,950	2,878 - 3,227

Табела 5.1.2.8: Оцена на значајноста на факторите b(i)  
Table 5.1.2.8 Assessment of the significance of factors b(i)

<b>ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>							
<b>Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство</b>							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода F(i)	Сума на квадрати S(i)	Дисперзија S(i)/F(i)	Дисперзиони односи FR(i)	Оцена на значајноста на факторите b(i)
Индекс i	Кодирани b(i)	Декодирани p(i)					
0	1,114	102,898	1	24,832	24,832	4527,6	Значаен
1	-0,06917	-0,2017567	1	0,076547	0,076547	14,0	Значаен
2	0,82217	1,433	1	10,816	10,816	1972,0	Значаен
3	0,03038	0,0000	1	0,014767	0,014767	2,7	Незначаен
4	-0,34902	-1,007	1	1.949	1.949	355,4	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			



Табела 5.1.2.9: Оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ Table 5.1.2.9: Assessment of the significance of factors  $b(i)$ 

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрат и $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодиран и $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	1,114	45,328	1	24,832	24,832	4527,6	Значаен
1	-0,06917	-0,0214775	1	0,076547	0,076547	14,0	Значаен
2	0,82217	0,6203544	1	10,816	10,816	1972,0	Значаен
3	0,03038	-1,439	1	0,014767	0,014767	2,7	Незначаен
4	-0,34902	5,635	1	1,949	1,949	355,4	Значаен
12	0,04969	0,1787238	1	0,039511	0,039511	7,2	Незначаен
13	0,01626	0,3164365	1	0,004228	0,004228	0,77081	Незначаен
14	-0,00618	-1,461	1	0,000611	0,000611	0,11133	Незначаен
23	0,02343	-1,427	1	0,008784	0,008784	1,6	Незначаен
24	-0,05145	6,585	1	0,042358	0,042358	7,7	Незначаен
34	0,03624	11,658	1	0,021012	0,021012	3,8	Незначаен
123	0,01141	0,3137063	1	0,002083	0,002083	0,37986	Незначаен
124	0,00665	-1,448	1	0,000707	0,000707	0,12886	Незначаен
134	0,07537	-2,564	1	0,090895	0,090895	16,6	Значаен
234	0,01501	11,558	1	0,003604	0,003604	0,65719	Незначаен
1234	-0,06004	-2,542	1	0,057681	0,057681	10,5	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.2.10: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ Table 5.1.2.10: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$ 

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрат и $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодиран и $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	1,114	108,167	1	24,832	24,832	4527,6	Значаен
1	-0,06917	-0,2017567	1	0,076547	0,076547	14,0	Значаен
2	0,82217	1,433	1	10,816	10,816	1972,0	Значаен
3	0,03038	0,0876579	1	0,014767	0,014767	2,7	Незначаен
4	-0,34902	-1,007	1	1,949	1,949	355,4	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.2.11: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.2.11: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$

<b>БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ <math>b(i)</math></b>							
<b>Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство</b>							
<b>Коефициенти од математичкиот модел</b>			<b>Степен на слобода <math>F(i)</math></b>	<b>Сума на квадрати <math>S(i)</math></b>	<b>Дисперзија <math>S(i)/F(i)</math></b>	<b>Дисперзиони односи <math>FR(i)</math></b>	<b>Оцена на значајноста на факторите <math>b(i)</math></b>
<b>Индекс <math>i</math></b>	<b>Кодира ни <math>b(i)</math></b>	<b>Декодира ни <math>p(i)</math></b>					
0	1,114	2,617	1	24,832	24,832	4527,6	Значаен
1	-0,06917	0,6437853	1	0,076547	0,076547	14,0	Значаен
2	0,82217	-0,823842	1	10,816	10,816	1972,0	Значаен
3	0,03038	-3,170	1	0,014767	0,014767	2,7	Незначаен
4	-0,34902	5,044	1	1,949	1,949	355,4	Значаен
12	0,04969	0,5147224	1	0,039511	0,039511	7,2	Незначаен
13	0,01626	0,7426689	1	0,004228	0,004228	0,77081	Незначаен
14	-0,00618	-1,344	1	0,000611	0,000611	0,11133	Незначаен
23	0,02343	-2,097	1	0,008784	0,008784	1,6	Незначаен
24	-0,05145	6,007	1	0,042358	0,042358	7,7	Незначаен
34	0,03624	12,337	1	0,021012	0,021012	3,8	Незначаен
123	0,01141	0,4811110	1	0,002083	0,002083	0,37986	Незначаен
124	0,00665	-1,350	1	0,000707	0,000707	0,12886	Незначаен
134	0,07537	-2,564	1	0,090895	0,090895	16,6	Значаен
234	0,01501	11,776	1	0,003604	0,003604	0,65719	Незначаен
1234	-0,06004	-2,542	1	0,057681	0,057681	10,5	Значаен
<b>Ако е <math>FR(i) &lt; 10,130 = &gt;</math> незначаен</b>				<b>Ако е <math>FR(i) \geq 10,130 = &gt;</math> значаен</b>			

Табела 5.1.2.12: Дисперзиона анализа  
 Table 5.1.2.12: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзни односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,366260	0,024417			
Грешка од експериментот	3	0,016454	0,005485			
Адекватност на моделот	12	0,349806	0,029151	5,315	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9861	
Ако е $FR < FT = >$ адекватен			Ако е $FR \geq FT = >$ неадекватен			

Табела 5.1.2.13: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.2.13: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзија S/F	Дисперзион односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	16	0,381027	0,023814			
Грешка од експериментот	3	0,016454	0,005485			
Адекватност на моделот	13	0,364573	0,028044	5,113	8,725	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0.9855	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.2.14: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.2.14: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзиј а S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватнос та на моделот
Резидуална сума	15	0,094785	0,006319			
Грешка од експериментот	3	0,016454	0,005485			
Адекватност на моделот	12	0,078331	0,006528	1,190	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9964	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.2.15: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.2.15: Dispersion analysis

<b>ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА</b>						
<b>Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)</b>						
	<b>Степен на слобода F</b>	<b>Сума на квадрат и S</b>	<b>Дисперзија S/F</b>	<b>Дисперзион и односи FR</b>	<b>Таблична вредност FT</b>	<b>Оцена на адекватноста на моделот</b>
<b>Резидуална сума</b>	16	0,232451	0,014528			
<b>Грешка од експериментот</b>	3	0,016454	0,005485			
<b>Адекватност на моделот</b>	13	0,215997	0,016615	3,029	8,725	Адекватен
<b>Коефициент на повеќекратна регресија</b>					0,9912	
<b>Ако е <math>FR &lt; FT \Rightarrow</math> адекватен</b>				<b>Ако е <math>FR \geq FT \Rightarrow</math> неадекватен</b>		

Табела 5.1.2.16: Преглед на карактеристики за избор на варијанта на математички модел  
Table 5.1.2.16: Overview of characteristics for choice of variant to a mathematical model

<b>ПРЕГЛЕД НА КАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ИЗБОР НА ВАРИЈАНТА НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ</b>				
<b>Карактеристики на математичкиот модел</b>	<b>Без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>
Број на членови во полиномот	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>6</b>
Пресметковен коефициент на адекватност на моделот	<b>5,315</b>	<b>5,113</b>	<b>1,190</b>	<b>3,029</b>
Табличен коефициент на адекватност на моделот	<b>8,740</b>	<b>8,725</b>	<b>8,740</b>	<b>8,725</b>
Оцена на адекватноста на моделот (адекватен/неадекватен)	<b>Адекватен</b>	<b>Адекватен</b>	<b>Адекватен</b>	<b>Адекватен</b>
Резидуална сума	<b>0,3662600</b>	<b>0,3810270</b>	<b>0,0947845</b>	<b>0,2324511</b>
Грешка од експериментот	<b>0,0164539</b>	<b>0,0164539</b>	<b>0,0164539</b>	<b>0,0164539</b>
Коефициент на повеќекратна регресија	<b>0,98605</b>	<b>0,98549</b>	<b>0,99641</b>	<b>0.99117</b>

### 5.1.3. Истражување на параметарот Rv

Табела 5.1.3.1: Карактеристики на независно променливите големина

Table 5.1.3.1: Characteristics of independent variable sizes

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕЗАВИСНО ПРОМЕНЛИВИТЕ ГОЛЕМИНИ					
Број	Означување	Ниво	Максимално	Средно	Минимално
		Код	1	0	-1
1.	$v$ (mm/min.)	X 1	133,00	94,398	67,00
2.	$f$ (mm/vrt.)	X 2	0,315	0,177	0,1
3.	$a$ (mm)	X 3	0,8	0,566	0,4
4.	$r_{\varepsilon}$ (mm)	X 4	1,6	1,131	0,8

Табела 5.1.3.2: Четирифакторен план на експерименти од прв ред

Table 5.1.3.2: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИ ФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД					
Ред. број	Реална план матрица – независно променливи големина				Измерена вредност
	$v$ (m/min.)	$f$ (mm/vr.)	$a$ (mm)	$r_{\varepsilon}$ (mm)	$Rv$ (um)
1.	67,00	0,1	0,4	0,8	1,200
2.	133,00	0,1	0,4	0,8	1,153
3.	67,00	0,315	0,4	0,8	4,723
4.	133,00	0,315	0,4	0,8	4,650
5.	67,00	0,1	0,8	0,8	1,440
6.	133,00	0,1	0,8	0,8	1,393
7.	67,00	0,315	0,8	0,8	5,387
8.	133,00	0,315	0,8	0,8	4,410
9.	67,00	0,1	0,4	1,6	0,843
10.	133,00	0,1	0,4	1,6	0,731
11.	67,00	0,315	0,4	1,6	2,777
12.	133,00	0,315	0,4	1,6	2,580
13.	67,00	0,1	0,8	1,6	0,783
14.	133,00	0,1	0,8	1,6	0,870
15.	67,00	0,315	0,8	1,6	2,837
16.	133,00	0,315	0,8	1,6	3,237
17.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	1,,757
18.	94,00	0,177 (0,,18)	0,566	1,13 (1,2)	1,840
19.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	1,863
20.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	1,443

Табела 5.1.3.3: Четирифакторен план на експерименти од прв ред

Table 5.1.3.3: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД						
Ред. број	Кодирана план матрица					Измерена вредност
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$R_v (\mu m)$
1.	1	-1	-1	-1	-1	1,200
2.	1	1	-1	-1	-1	1,153
3.	1	-1	1	-1	-1	4,723
4.	1	1	1	-1	-1	4,650
5.	1	-1	-1	1	-1	1,440
6.	1	1	-1	1	-1	1,393
7.	1	-1	1	1	-1	5,387
8.	1	1	1	1	-1	4,410
9.	1	-1	-1	-1	1	0,843
10.	1	1	-1	-1	1	0,731
11.	1	-1	1	-1	1	2,777
12.	1	1	1	-1	1	2,580
13.	1	-1	-1	1	1	0,783
14.	1	1	-1	1	1	0,870
15.	1	-1	1	1	1	2,837
16.	1	1	1	1	1	3,237
17.	1	0	0	0	0	1,757
18.	1	0	0	0	0	1,840
19.	1	0	0	0	0	1,863
20.	1	0	0	0	0	1,443

Табела 5.1.3.4: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел

Table 5.1.3.4: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ <math>b(i)</math></b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност <math>R_v (\mu m)</math></b>	<b>Пресметковна вредност <math>R_v (\mu m)</math></b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	1,200	1,233	-2,709	1,097 - 1,385
2.	1,153	1,192	-3,378	1,061 - 1,339
3.	4,723	4,461	5,543	3,970 - 5,013
4.	4,650	4,314	7,218	3,839 - 4,848
5.	1,440	1,362	5,426	1,212 - 1,530
6.	1,393	1,317	5,453	1,172 - 1,480
7.	5,387	4,929	8,494	4,387 - 5,540
8.	4,410	4,767	-8.100	4,242 - 5,357
9.	0,843	0,751	10,872	0,669 - 0,844
10.	0,731	0,727	0,598	0,647 - 0,817
11.	2,777	2,720	2,067	2,420 - 3,056
12.	2,580	2,630	-1,942	2,340 - 2,956
13.	0.783	0,830	-6,030	0,739 - 0,933
14.	0,870	0,803	7,714	0,714 - 0,902
15.	2,837	3,005	-5,924	2,674 - 3,377
16.	3,237	2,906	10,221	2,586 - 3,266
17.	1,757	1,893	-7,716	1.805 - 1,985
18.	1,840	1,893	-2,857	1,805 - 1,985
19.	1,863	1,893	-1,588	1,805 - 1,985
20.	1,443	1,893	-31,156	1,.805 - 1,985

Табела 5.1.3.5: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1. 3.5: Correlation of the input-output information about the mathematical model

КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)				
Ред. број	Измерена вредност <i>R<sub>v</sub></i> (um)	Пресметковна вредност <i>R<sub>v</sub></i> (um)	Грешка во (%)	95 % - Интервал на доверба
1.	1,200	1,274	-6,173	1,159 - 1,400
2.	1,153	1,274	-10,501	1,159 - 1,400
3.	4,723	4,612	2,357	4,196 - 5,068
4.	4,650	4,612	0,824	4,196 - 5,068
5.	1,440	1,274	11,523	1,159 - 1,400
6.	1,393	1,274	8,537	1,159 - 1,400
7.	5,387	4,612	14,393	4,196 - 5,068
8.	4,410	4,612	-4,573	4,196 - 5,068
9.	0,843	0,777	7,865	0,707 - 0,854
10.	0,731	0,777	-6,251	0,707 - 0,854
11.	2,777	2,811	-1,236	2,558 - 3,089
12.	2,580	2,811	-8,967	2,558 - 3,089
13.	0, 783	0,777	0,805	0,707 - 0,854
14.	0,870	0,777	10,725	0,707 - 0,854
15.	2,837	2,811	0,905	2,558 - 3,089
16.	3,237	2,811	13,150	2,558 - 3,089
17.	1,757	1,893	-7,716	1,799 - 1,990
18.	1,840	1,893	-2,857	1,799 - 1,990
19.	1,863	1,893	-1,588	1,799 - 1,990
20.	1,443	1,893	-31,156	1,799 - 1,990



Табела 5.1.3.6: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1. 3.6: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност <i>R<sub>v</sub></i> (um)</b>	<b>Пресметковна вредност <i>R<sub>v</sub></i> (um)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	1,200	1,171	2,405	0,994 - 1.379
2.	1,153	1,125	2,405	0,955 - 1.325
3.	4,723	4,609	2,405	3,913 - 5.429
4.	4,650	4,538	2,405	3,853 - 5.345
5.	1,440	1,405	2,405	1,193 - 1.655
6.	1,393	1,360	2,405	1,154 - 1.601
7.	5,387	5,257	2,405	4,464 - 6.192
8.	4,410	4,304	2,405	3,654 - 5.069
9.	0,843	0,823	2,405	0,699 - 0.969
10.	0,31	0,713	2,405	0,606 - 0.840
11.	2,777	2,710	2,405	2,301 - 3.192
12.	2,580	2,518	2,405	2,138 - 2.966
13.	0,783	0,764	2,405	0,649 - 0.900
14.	0,870	0,849	2,405	0,721 - 1.000
15.	2,837	2,769	2,405	2,351 - 3.261
16.	3,237	3,159	2,405	2,682 - 3.721
17.	1,757	1,893	-7,716	1,824 - 1.964
18.	1,840	1,893	-2,857	1,824 - 1.964
19.	1,863	1,893	-1,588	1,824 - 1.964
20.	1,443	1,893	-31,156	1,824 - 1.964

Табела 5.1.3.7: Корелација на влезно-излезните информации за математички модел  
Table 5.1.3.7: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност <i>Rv (um)</i></b>	<b>Пресметковна вредност <i>Rv (um)</i></b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	1,200	1,274	-6,173	1,159 - 1.400
2.	1,153	1,274	-10,,501	1,159 - 1.400
3.	4,723	4,612	2,357	4,196 - 5.068
4.	4,650	4,612	0,824	4,196 - 5.068
5.	1,440	1,274	11,523	1,159 - 1.400
6.	1,393	1,274	8,537	1,159 - 1.400
7.	5,387	4,612	14,393	4,196 - 5.068
8.	4.410	4,612	-4,573	4,196 - 5.068
9.	0,843	0,777	7,865	0,707 - 0.854
10.	0,731	0,777	-6,251	0,707 - 0.854
11.	2,777	2,811	-1,236	2,558 - 3.089
12.	2,580	2,811	-8,967	2,558 - 3.089
13.	0,783	0,777	0,,805	0,707 - 0.854
14.	0,870	0,777	10,725	0,707 - 0.854
15.	2,837	2,811	0,905	2,558 - 3.089
16.	3,237	2,811	13,150	2,558 - 3.089
17.	1,757	1,893	-7,716	1,799 - 1.990
18.	1,840	1,893	-2,857	1,799 - 1.990
19.	1,863	1,893	-1,588	1,799 - 1.990
20.	1,443	1,893	-31,156	1,799 - 1.990

Табела 5.1.3.8: Оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.3.8: Assessment on a significance to factorite  $b(i)$

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	0,63794	14,359	1	8,139	8,139	578,6	Значаен
1	-0,01673	0,0000	1	0,004479	0,004479	0,31840	Незначаен
2	0,64318	1,121	1	6,619	6,619	470,5	Значаен
3	0,04990	0,0000	1	0,039845	0,039845	2,8	Незначаен
4	-0,24746	-0,7140308	1	0,979816	0,979816	69,7	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 = >$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 = >$ значаен			

Табела 5.1.3.9: Оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.3.9: Assessment on a significance to factorite  $b(i)$

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	0,63794	14,359	1	8,139	8,139	578,6	Значаен
1	-0,01673	0,0000	1	0,004479	0,004479	0,31840	Незначаен
2	0,64318	1,121	1	6,619	6,619	470,5	Значаен
3	0,04990	0,0000	1	0,039845	0,039845	2,8	Незначаен
4	-0,24746	-0,714030	1	0,979816	0,979816	69,7	Значаен
12	-0,00294	0,0000	1	0,000138	0,000138	0,00983	Незначаен
13	0,01723	0,0000	1	0,004748	0,004748	0,33753	Незначаен
14	0,01937	0,0000	1	0,006004	0,006004	0,42683	Незначаен
23	-0,00905	0,0000	1	0,001312	0,001312	0,09325	Незначаен
24	-0,01136	0,0000	1	0,002066	0,002066	0,14686	Незначаен
34	-0,00634	0,0000	1	0,000644	0,000644	0,04576	Незначаен
123	-0,01461	0,0000	1	0,003415	0,003415	0,24273	Незначаен
124	0,01488	0,0000	1	0,003442	0,003442	0,25180	Незначаен
134	0,03945	0,0000	1	0,024898	0,024898	1,8	Незначаен
234	0,02755	0,0000	1	0,012147	0,012147	0,86346	Незначаен
1234	0,00930	0,0000	1	0,001385	0,001385	0,09847	Незначаен
Ако е $FR(i) < 10,130 = >$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 = >$ значаен			

Табела 5.1.3.10: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.3.10: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодиран $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	0.63794	19,459	1	8,139	8,139	578,6	Значаен
1	-0.01673	-0,0488042	1	0,004479	0,004479	0,31840	Незначаен
2	0.64318	1,121	1	6,619	6,619	470,5	Значаен
3	0.04990	0,1439891	1	0,039845	0,039845	2,8	Незначаен
4	-0.24746	-0,7140308	1	0,979816	0,979816	69,7	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 = >$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 = >$ значаен			

Табела 5.1.3.11: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.3.11: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодиран $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	0,63794	83,101	1	8,139	8.139	578,6	Значаен
1	-0,01673	- 0,3850975	1	0,004479	0,004479	0,31840	Незначаен
2	0,64318	1.946	1	6,619	6,619	470,5	Значаен
3	0,04990	1,932	1	0,039845	0,039845	2,8	Незначаен
4	-0,24746	-7,153	1	0,979816	0,979816	69,7	Значаен
12	-0,00294	-0,191688	1	0,000138	0,000138	0,00983	Незначаен
13	0,01723	-0,427833	1	0,004748	0,004748	0,33753	Незначаен
14	0,01937	1,474	1	0,006004	0,006004	0.42683	Незначаен
23	-0,00905	1,101	1	0,001312	0,001312	0,09325	Незначаен
24	-0,01136	-1,842	1	0,002066	0,002066	0,14686	Незначаен
34	-0.00634	-6,815	1	0,000644	0,000644	0.04576	Незначаен
123	-0,01461	-0,262932	1	0,003415	0,003415	0.24273	Незначаен
124	0,01488	0,4426746	1	0,003442	0,003442	0,25180	Незначаен
134	0,03945	1,639	1	0,024898	0,024898	1,8	Незначаен
234	0,02755	-1,391	1	0,012147	0,012147	0,86346	Незначаен
1234	0,00930	0,3938683	1	0,001385	0,001385	0,09847	Незначаен
Ако е $FR(i) < 10,130 = >$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 = >$ значаен			

Табела 5.1.3.12: Дисперзиона анализа

Table 5.1.3.12: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзни односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,149905	0,009994			
Грешка од експериментот	3	0,042203	0,014068			
Адекватност на моделот	12	0,107702	0,008975	0,638006	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9903	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.3.13: Дисперзиона анализа

Table 5.1.3.13: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуал на сума	17	0,194229	0,011425			
Грешка од експериментот	3	0,042203	0.014068			
Адекватност на моделот	14	0,152026	0.010859	0,7719118	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9875	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.3.14: Дисперзиона анализа

Table 5.1.3.14: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзија a S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуал на сума	15	0,089605	0,005974			
Грешка од експериментот	3	0,042203	0,014068			
Адекватност на моделот	12	0,047403	0,003950	0,280804	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9942	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 1.1.3.15: Дисперзиона анализа

Table 5.1.3.15: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзија S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	0,194229	0,011425			
Грешка од експериментот	3	0,042203	0,014068			
Адекватност на моделот	14	0,152026	0,010859	0,771918	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9875	
Ако е $FR < FT = >$ адекватен			Ако е $FR \geq FT = >$ неадекватен			

Табела 5.1.3.16: Преглед на карактеристики за избор на варијанта на математички модел

Table 5.1.3.16: Overview of characteristics for choice of variant to a mathematical model

ПРЕГЛЕД НА КАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ИЗБОР НА ВАРИЈАНТА НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ				
Карактеристики на математичкиот модел	Без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста	Без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста	Со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста	Со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста
Број на членови во полиномот	5	3	16	3
Пресметковен коефициент на адекватност на моделот	0,6380065	0,7719177	0,2808038	0,7719177
Табличен коефициент на адекватност на моделот	8,740	8,710	8,740	8,710
Оцена на адекватноста на моделот (адекватен/неадекватен)	Адекватен	Адекватен	Адекватен	Адекватен
Резидуална сума	0,1499049	0,1942285	0,0896053	0,1942285
Грешка од експериментот	0,0422026	0,0422026	0,0422026	0,0422026
Коефициент на повеќекратна регресија	0,99034	0,98746	0,99423	0,98746

#### 5.1.4. Рапавост - Параметарот Rz

Табела 5.1.4.1: Карактеристики на независно променливите големини

Table 5.1.4.1: Characteristics of independent variable sizes

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕЗАВИСНО ПРОМЕНЛИВИТЕ ГОЛЕМИНИ					
Број	Означување	Ниво	Максимално	Средно	Минимално
		Код	1	0	-1
1.	v (mm/min)	X 1	133,00	94,398	67,00
2.	f (mm/vrt)	X 2	0,315	0,177	0,1
3.	a (mm)	X 3	0,8	0,566	0,4
4.	r <sub>ε</sub> (mm)	X 4	1,6	1,131	0,8

Табела 5.1.4.2: Четирифакторен план на експерименти од прв ред  
Table 5.1.4.2: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД					
Ред. број	Реална план матрица – независно променливи големина				Измерена вредност
	v (m/min.)	f (mm/vr.)	a (mm)	r <sub>ε</sub> (mm)	Rz (um)
1.	67,00	0,1	0,4	0,8	2,930
2.	133,00	0,1	0,4	0,8	2,970
3.	67,00	0,315	0,4	0,8	15,067
4.	133,00	0,315	0,4	0,8	14,333
5.	67,00	0,1	0,8	0,8	3,623
6.	133,00	0,1	0,8	0,8	2,753
7.	67,00	0,315	0,8	0,8	15,500
8.	133,00	0,315	0,8	0,8	14,400
9.	67,00	0,1	0,4	1,6	2,073
10.	133,00	0,1	0,4	1,6	1,443
11.	67,00	0,315	0,4	1,6	7,093
12.	133,00	0,315	0,4	1,6	6,393
13.	67,00	0,1	0,8	1,6	1,767
14.	133,00	0,1	0,8	1,6	1,870
15.	67,00	0,315	0,8	1,6	7,720
16.	133,00	0,315	0,8	1,6	8,360
17.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	5,290
18.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	5,590
19.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	5,280
20.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	4,587



Табела 5.1.4.3: Четирифакторен план на експерименти од прв ред  
Table 5.1.4.3: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД						
Ред. број	Кодирана план матрица					Измерена вредност
	X 0	X 1	X 2	X 3	X 4	Rz (um)
1.	1	-1	-1	-1	-1	2,930
2.	1	1	-1	-1	-1	2,970
3.	1	-1	1	-1	-1	15,067
4.	1	1	1	-1	-1	14,333
5.	1	-1	-1	1	-1	3,623
6.	1	1	-1	1	-1	2,,753
7.	1	-1	1	1	-1	15,500
8.	1	1	1	1	-1	14,400
9.	1	-1	-1	-1	1	2.073
10.	1	1	-1	-1	1	1,443
11.	1	-1	1	-1	1	7,093
12.	1	1	1	-1	1	6,393
13.	1	-1	-1	1	1	1,767
14.	1	1	-1	1	1	1,870
15.	1	-1	1	1	1	7,720
16.	1	1	1	1	1	8,360
17.	1	0	0	0	0	5,290
18.	1	0	0	0	0	5,590
19.	1	0	0	0	0	5,280
20.	1	0	0	0	0	4,587

Табела 5.1.4.4: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.4.4: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност Rz (um)</b>	<b>Пресметковна вредност Rz (um)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	2,930	3,224	-10,042	2,865 - 3,629
2.	2,970	2,949	0,715	2,620 - 3,319
3.	15,067	14,468	3,973	12,856 - 16,283
4.	14,333	13,232	7,680	11,758 - 14,892
5.	3,623	3,485	3,813	3,097 - 3,922
6.	2,753	3,187	-15,769	2,832 - 3,587
7.	15,500	15,638	-0,891	13,896 - 17,599
8.	14,400	14,302	0,681	12,708 - 16,095
9.	2,073	1,731	16,479	1,538 - 1,948
10.	1,443	1,583	-9,734	1,407 - 1,782
11.	7,093	7,769	-9,537	6,904 - 8,744
12.	6,393	7,106	-11,147	6,314 - 7,997
13.	1,767	1,871	-5,905	1,663 - 2,106
14.	1,870	1,711	8,478	1,521 - 1,926
15.	7,720	8,398	-8,776	7,462 - 9,451
16.	8,360	7,680	8,133	6,824 - 8,643
17.	5,290	4,976	5,933	4,742 - 5,222
18.	5,590	4,976	10,981	4,742 - 5,222
19.	5,280	4,976	5,754	4,742 - 5,222
20.	4,587	4,976	-8,484	4,742 - 5,222

Табела 5.1.4.5: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
 Table 5.1.4.5: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност Rz (um)</b>	<b>Пресметковна вредност Rz (um)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	2,930	3,206	-9,407	2,906 - 3,536
2.	2,970	3,206	-7,933	2,906 - 3,536
3.	15,067	14,385	4,527	13,042 - 15,867
4.	14,333	14,385	-0,363	13,042 - 15,867
5.	3,623	3,206	11,520	2,906 - 3,536
6.	2,753	3,206	-16,441	2,906 - 3,536
7.	15,500	14,385	7,94	13,042 - 15,867
8.	14,400	14,385	0,104	13,042 - 15,867
9.	2,073	1,721	16,961	1,561 - 1,899
10.	1,443	1,721	-19,293	1,561 - 1,899
11.	7,093	7,725	-8,905	7,003 - 8,520
12.	6,393	7,725	-20,829	7,003 - 8,520
13.	1,767	1,721	2,581	1,561 - 1,899
14.	1,870	1,721	7,947	1,561 - 1,899
15.	7,720	7,725	-0,060	7,003 - 8,520
16.	8,360	7,725	7,600	7,003 - 8,520
17.	5,290	4,976	5,933	4,722 - 5,244
18.	5,590	4,976	10,981	4,722 - 5,244
19.	5,280	4,976	5,754	4,722 - 5,244
20.	4,587	4,976	-8,484	4,722 - 5,244

Табела 5.1.4.6: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
 Table 5.1.4.6: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност Rz (um)</b>	<b>Пресметковна вредност Rz (um)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	2.930	2.959	-0.975	2.696 - 3.247
2.	2.970	2.999	-0.975	2.733 - 3.291
3.	15.067	15.214	-0.975	13.863 - 16.697
4.	14.333	14.473	-0.975	13.188 - 15.883
5.	3.623	3.658	-0.975	3.334 - 4.015
6.	2.753	2.780	-0.975	2.533 - 3.051
7.	15.500	15.651	-0.975	14.261 - 17.176
8.	14.400	14.540	-0.975	13.249 - 15.957
9.	2.073	2.093	-0.975	1.907 - 2.297
10.	1.443	1.457	-0.975	1.328 - 1.599
11.	7.093	7.162	-0.975	6.526 - 7.860
12.	6.393	6.455	-0.975	5.882 - 7.084
13.	1.767	1.784	-0.975	1.626 - 1.958
14.	1.870	1.888	-0.975	1.721 - 2.072
15.	7.720	7.795	-0.975	7.103 - 8.555
16.	8.360	8.442	-0.975	7.692 - 9.264
17.	5.290	4.976	5.933	4.873 - 5.081
18.	5.590	4.976	10.981	4.873 - 5.081
19.	5.280	4.976	5.755	4.873 - 5.081
20.	4.587	4.976	-8.484	4.873 - 5.081

Табела 5.1.4.7: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.4.7: Correlation of the input-output information about the mathematical model

КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)				
Ред. број	Измерена вредност Rz (um)	Пресметковна вредност (um)	Грешка во (%)	95 % - Интервал на доверба
1.	2,930	3,206	-9,407	2,906 - 3,536
2.	2,970	3,206	-7,933	2,906 - 3,536
3.	15,067	14,385	4,527	13,042 - 15,867
4.	14,333	14,385	-0,363	13,042 - 15,867
5.	3,623	3,206	11,520	2,906 - 3,536
6.	2,753	3,206	-16,441	2,906 - 3,536
7.	15,500	14,385	7,194	13,042 - 15,867
8.	14,400	14,385	0,104	13,042 - 15,867
9.	2,073	1,721	16,961	1,561 - 1,899
10.	1,443	1,721	-19,293	1,561 - 1,899
11.	7,093	7,725	-8,905	7,003 - 8,520
12.	6,393	7,725	-20,829	7,003 - 8,520
13.	1,767	1,721	2,581	1,561 - 1,899
14.	1,870	1,721	7,947	1,561 - 1,899
15.	7,720	7,725	-0,060	7,003 - 8,520
16.	8,360	7,725	7,600	7,003 - 8,520
17.	5,290	4,976	5,933	4,722 - 5,244
18.	5,590	4,976	10,981	4,722 - 5,244
19.	5,280	4,976	5,754	4,722 - 5,244
20.	4,587	4,976	-8,484	4,722 - 5,244

Табела 5.1.4.8: Оцена на значајноста на факторите b(i)  
Table 5.1.4.8: Assessment of the significance of factors b(i)

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода F(i)	Сума на квадрати S(i)	Дисперзија S(i)/F(i)	Дисперзиони односи FR(i)	Оцена на значајноста на факторите b(i)
Инд. ек. i	Кодирани b(i)	Декодирани p(i)					
0	1,605	53,382	1	51,499	51,499	7224,8	Значаен
1	-0,04466	0,0000	1	0,031905	0,031905	4,5	Незначаен
2	0,75064	1,308	1	9,015	9,015	1264,8	Значаен
3	0,03887	0,0000	1	0,024171	0,024171	3,4	Незначаен
4	-0,31089	-0,897026	1	1,546	1,546	216,9	Значаен
Ако е $FR(i) < 10.130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10.130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.4.9: Оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ Table 5.1.4.9: Assessment of the significance of factors  $b(i)$ 

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	1,605	53,382	1	51,499	51,499	7224,8	Значаен
1	-0,04466	0,0000	1	0,031905	0,031905	4,5	Незначаен
2	0,75064	1,308	1	9,015	9,015	1264,8	Значаен
3	0,03887	0,0000	1	0,024171	0,024171	3,4	Незначаен
4	-0,31089	-0,8970264	1	1,546	1,546	216,9	Значаен
12	0,02618	0,0000	1	0,010965	0,010965	1,5	Незначаен
13	0,01816	0,0000	1	0,005279	0,005279	0,74064	Незначаен
14	0,00342	0,0000	1	0,000187	0,000187	0,02626	Незначаен
23	0,00938	0,0000	1	0,001407	0,001407	0,19736	Незначаен
24	-0,03931	0,0000	1	0,024723	0,024723	3,5	Незначаен
34	0,01769	0,0000	1	0,005007	0,005007	0,70241	Незначаен
123	0,00182	0,0000	1	0,000053	0,000053	0,00744	Незначаен
124	0,00899	0,0000	1	0,001293	0,001293	0,18146	Незначаен
134	0,05714	0,0000	1	0,052248	0,052248	7,3	Незначаен
234	0,02231	0,0000	1	0,007961	0,007961	1,1	Незначаен
1234	-0,03124	0,0000	1	0,015618	0,015618	2,2	Незначаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.4.10: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ Table 5.1.4.10: Without. assessment of the significance of factors  $b(i)$ 

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	1,605	102,895	1	51,499	51,499	7224,8	Значаен
1	-0,04466	-0,1302555	1	0,031905	0,031905	4,5	Незначаен
2	0,75064	1,308	1	9,015	9,015	1264,8	Значаен
3	0,03887	0,1121491	1	0,024171	0,024171	3,4	Незначаен
4	-0,31089	-0,8970264	1	1,546	1,546	216,9	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.4.11: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.4.11: Without. assessment of the significance of factors  $b(i)$

<b>БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ <math>b(i)</math></b>							
<b>Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство</b>							
<b>Коефициенти од математичкиот модел</b>			<b>Степен на слобода <math>F(i)</math></b>	<b>Сума на квадрати <math>S(i)</math></b>	<b>Дисперзија <math>S(i)/F(i)</math></b>	<b>Дисперзиони односи <math>FR(i)</math></b>	<b>Оцена на значајноста на факторите <math>b(i)</math></b>
<b>Индекс <math>i</math></b>	<b>Кодира ни <math>b(i)</math></b>	<b>Декодиран и <math>p(i)</math></b>					
0	1,605	19,439	1	51,499	51,499	7224,8	Значаен
1	-0,04466	0,2447559	1	0,031905	0,031905	4,5	Незначаен
2	0,75064	0,3135914	1	9,015	9,015	1264,8	Значаен
3	0,03887	-1,303	1	0,024171	0,024171	3,4	Незначаен
4	-0,31089	0,3242689	1	1,546	1,546	216,9	Значаен
12	0,02618	0,2250303	1	0,010965	0,010965	1,5	Незначаен
13	0,01816	0,3099733	1	0,005279	0,005279	0,74064	Незначаен
14	0,00342	-0,2551623	1	0,000187	0,000187	0,02626	Незначаен
23	0,00938	-0,8565399	1	0,001407	0,001407	0,19736	Незначаен
24	-0,03931	2,813	1	0,024723	0,024723	3,5	Незначаен
34	0,01769	4,794	1	0,005007	0,005007	0,70241	Незначаен
123	0,00182	0,1899376	1	0,000053	0,000053	0,00744	Незначаен
124	0,00899	-0,6215410	1	0,001293	0,001293	0,18146	Незначаен
134	0,05714	-0,8986903	1	0,052248	0,052248	7,3	Незначаен
234	0,02231	6,338	1	0,007961	0,007961	1,1	Незначаен
1234	-0,03124	-1,322	1	0,015618	0,015618	2,2	Незначаен
<b>Ако е <math>FR(i) &lt; 10.130 \Rightarrow</math> незначаен</b>				<b>Ако е <math>FR(i) \geq 10.130 \Rightarrow</math> значаен</b>			

Табела 5.1.4.12: Дисперзиона анализа  
 Table 5.1.4.12: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	дисперзиони односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,153664	0,010244			
Грешка од експериментот	3	0,021384	0,007128			
Адекватност на моделот	12	0,132279	0,011023	1,546	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9928	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.4.13: Дисперзиона анализа

Table 51.4.13: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперз ија S/F	Дисперзио ни односи FR	Табличн а вредност FT	Оцена на адекватнос та на моделот
Резидуална сума	17	0,209741	0,012338			
Грешка од експеримен тот	3	0,021384	0,007128			
Адекватнос т на моделот	14	0,188356	0,013454	1,887	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0.9902	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.4.14: Дисперзиона анализа

Table 51.4.14: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперз ија S/F	Дисперзио ни односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватнос та на моделот
Резидуална сума	15	0,028923	0,001928			
Грешка од експеримент от	3	0,021384	0,007128			
Адекватност на моделот	12	0,007538	0,000628	0,088131	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9987	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			



Табела 5.1.4.15: Дисперзиона анализа

Table 51.4.15: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзиони односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	0,209741	0,012338			
Грешка од експериментот	3	0,021384	0,007128			
Адекватност на моделот	14	0,188356	0,013454	1,887	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9902	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.4.16: Преглед на карактеристики за избор на варијанта на математички модел

Table 5.1.4.16: Overview of characteristics for choice of variant to a mathematical model

<b>ПРЕГЛЕД НА КАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ИЗБОР НА ВАРИЈАНТА НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ</b>				
<b>Карактеристики на математичкиот модел</b>	<b>Без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>
<b>Број на членови во полиномот</b>	5	3	16	3
<b>Пресметковен коефициент на адекватност на моделот</b>	1,546	1,887	0,0881306	1,887
<b>Табличен коефициент на адекватност на моделот</b>	8,740	8,710	8,740	8,710
<b>Оцена на адекватноста на моделот (адекватен/неадекватен)</b>	Адекватен	Адекватен	Адекватен	Адекватен
<b>Резидуална сума</b>	0,1536636	0,2097406	0,0289226	0,2097406
<b>Грешка од експериментот</b>	0,0213842	0,0213842	0,0213842	0,0213842

Коефициент на повеќекратна регресија	0,99284	0,99022	0,99866	0,99022
--------------------------------------	---------	---------	---------	---------

### 5.1.5. Рапавост - Параметарот RSm

Табела 5.1.5.1: Карактеристики на независно променливите големини

Table 5.1.5.1: Characteristics of independent variable sizes

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕЗАВИСНО ПРОМЕНЛИВИТЕ ГОЛЕМИНИ					
Број	Означување	Ниво	Максимално	Средно	Минимално
		Код	1	0	-1
1.	v (mm/min.)	X 1	133,00	94,398	67,00
2.	f (mm/vrt.)	X 2	0,315	0,177	0,1
3.	a (mm)	X 3	0,8	0,566	0,4
4.	r <sub>ε</sub> (mm)	X 4	1,6	1,131	0,8

Табела 5.1.5.2: Четирифакторен план на експерименти од прв ред

Table 5.1.5.2: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД					
Ред. број	Реална план матрица – независно променливи големини				Измерена вредност
	v (m/min.)	f (mm/vr.)	a (mm)	r <sub>ε</sub> (mm)	RSm (mm)
1.	67,00	0,1	0,4	0,8	0,076
2.	133,00	0,1	0,4	0,8	0,084
3.	67,00	0,315	0,4	0,8	0,294
4.	133,00	0,315	0,4	0,8	0,300
5.	67,00	0,1	0,8	0,8	0,053
6.	133,00	0,1	0,8	0,8	0,073
7.	67,00	0,315	0,8	0,8	0,297
8.	133,00	0,315	0,8	0,8	0,301
9.	67,00	0,1	0,4	1,6	0,043
10.	133,00	0,1	0,4	1,6	0,039
11.	67,00	0,315	0,4	1,6	0,262
12.	133,00	0,315	0,4	1,6	0,301
13.	67,00	0,1	0,8	1,6	0,045
14.	133,00	0,1	0,8	1,6	0,037
15.	67,00	0,315	0,8	1,6	0,291
16.	133,00	0,315	0,8	1,6	0,229
17.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,6	0,157
18.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,6	0,194
19.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,6	0,178
20.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,6	0,191

Табела 5.1.5.3: Четирифакторен план на експерименти од прв ред  
Table 5.1.5.3: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД						
Ред. број	Кодирана план матрица					Измерена вредност
	X 0	X 1	X 2	X 3	X 4	RSm (mm)
1.	1	-1	-1	-1	-1	0,076
2.	1	1	-1	-1	-1	0,084
3.	1	-1	1	-1	-1	0,294
4.	1	1	1	-1	-1	0,300
5.	1	-1	-1	1	-1	0,053
6.	1	1	-1	1	-1	0,073
7.	1	-1	1	1	-1	0,297
8.	1	1	1	1	-1	0,301
9.	1	-1	-1	-1	1	0,043
10.	1	1	-1	-1	1	0,039
11.	1	-1	1	-1	1	0,262
12.	1	1	1	-1	1	0,301
13.	1	-1	-1	1	1	0,045
14.	1	1	-1	1	1	0,037
15.	1	-1	1	1	1	0,291
16.	1	1	1	1	1	0,229
17.	1	0	0	0	0	0,157
18.	1	0	0	0	0	0,194
19.	1	0	0	0	0	0,178
20.	1	0	0	0	0	0,191

Табела 5.1.5.4: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.5.4: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност RSm (mm)</b>	<b>Пресметковна вредност RSm (mm)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	0,076	0,071	7,075	0,054 - 0,093
2.	0,084	0,071	15,296	0,054 - 0,094
3.	0,294	0,373	-26,748	0,283 - 0,491
4.	0,300	0,375	-25,143	0,285 - 0,494
5.	0,053	0,065	-22,654	0,049 - 0,086
6.	0,073	0,065	10,283	0,050 - 0,086
7.	0,297	0,343	-15,491	0,260 - 0,452
8.	0,301	0,346	-14,808	0,262 - 0,455
9.	0,043	0,051	-18,881	0,039 - 0,067
10.	0,039	0,052	-32,054	0,039 - 0,068
11.	0,262	0,270	-2,949	0,205 - 0,355
12.	0,301	0,272	9,720	0,206 - 0,358
13.	0,045	0,047	-4,563	0,036 - 0,062
14.	0,037	0,047	-28,123	0,036 - 0,062
15.	0,291	0,248	14,682	0,189 - 0,327
16.	0,229	0,250	-9,229	0,190 - 0,329
17.	0,157	0,133	15,344	0,190 - 0,149
18.	0,194	0,133	31,489	0,190 - 0,149
19.	0,178	0,133	25,331	0,190 - 0,149
20.	0,191	0,133	30,413	0,190 - 0,149

Табела 5.1.5.5: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.5.5: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност RSm (mm)</b>	<b>Пресметковна вредност RSm (mm)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	0,076	0,068	10,514	0,056 - 0,083
2.	0,084	0,068	19,036	0,056 - 0,083
3.	0,294	0,359	-22,058	0,294 - 0,438
4.	0,300	0,359	-19,617	0,294 - 0,438
5.	0,053	0,068	-28,320	0,056 - 0,083
6.	0,073	0,068	6,836	0,056 - 0,083
7.	0,297	0,359	-20,825	0,294 - 0,438
8.	0,301	0,359	-19,220	0,294 - 0,438
9.	0,043	0,049	-14,481	0,040 - 0,060
10.	0,039	0,049	-26,223	0,040 - 0,060
11.	0,262	0,260	0,861	0,213 - 0,317
12.	0,301	0,260	13,706	0,213 - 0,317
13.	0,045	0,049	-9,393	0,040 - 0,060
14.	0,037	0,049	-33,046	0,040 - 0,060
15.	0,291	0,260	10,741	0,213 - 0,317
16.	0,229	0,260	-13,426	0,213 - 0,317
17.	0,157	0,133	15,344	0,120 - 0,148
18.	0,194	0,133	31,489	0,120 - 0,148
19.	0,178	0,133	25,331	0,120 - 0,148
20.	0,191	0,133	30,413	0,120 - 0,148

Табела 5.1.5.6: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
 Table 5.1.5.6: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност RSm (mm)</b>	<b>Пресметковна вредност RSm (mm)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	0,076	0,082	-7,785	0,056 - 0,120
2.	0,084	0,091	-7,785	0,062 - 0,132
3.	0,294	0,317	-7,785	0,217 - 0,462
4.	0,300	0,323	-7,785	0,222 - 0,472
5.	0,053	0,057	-7,785	0,039 - 0,083
6.	0,073	0,079	-7,785	0,054 - 0,115
7.	0,297	0,320	-7,785	0,219 - 0,467
8.	0,301	0,324	-7,785	0,222 - 0,473
9.	0,043	0,046	-7,785	0,032 - 0,068
10.	0,039	0,042	-7,785	0,029 - 0,061
11.	0,262	0,282	-7,785	0,194 - 0,412
12.	0,301	0,324	-7,785	0,222 - 0,473
13.	0,045	0,049	-7,785	0,,033 - 0,071
14.	0,037	0,040	-7,785	0,027 - 0,058
15.	0,291	0,314	-7,785	0,215 - 0,458
16.	0,229	0,247	-7,785	0,169 - 0,360
17.	0,157	0,133	15,344	0,122 - 0,145
18.	0,194	0,133	31,489	0,122 - 0,145
19.	0,178	0,133	25,331	0,122 - 0,145
20.	0,191	0,133	30,413	0,122 - 0,145

Табела 5.1.5.7: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.5.7: Correlation of the input-output information about the mathematical model

КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)				
Ред. број	Измерена вредност RSm (mm)	Пресметковна вредност RSm (mm)	Грешка во (%)	95 % - Интервал на доверба
1.	0,076	0,076	0,019	0,062 - 0,093
2.	0,084	0,076	9,541	0,062 - 0,093
3.	0,294	0,321	-9,247	0,262 - 0,394
4.	0,300	0,321	-7,062	0,262 - 0,394
5.	0,053	0,076	-43,369	0,062 - 0,093
6.	0,073	0,076	-4,090	0,062 - 0,093
7.	0,297	0,321	-8,143	0,062 - 0,394
8.	0,301	0,321	-6,706	0,062 - 0,394
9.	0,043	0,044	-2,465	0,036 - 0,054
10.	0,039	0,044	-12,974	0,036 - 0,054
11.	0,262	0,290	-10,766	0,237 - 0,356
12.	0,301	0,290	3,586	0,237 - 0,356
13.	0,045	0,044	2,089	0,036 - 0,054
14.	0,037	0,044	-19,081	0,036 - 0,054
15.	0,291	0,290	0,273	0,237 - 0,356
16.	0,229	0,290	-26,728	0,237 - 0,356
17.	0,157	0,133	15,344	0,121 - 0,146
18.	0,194	0,133	31,489	0,121 - 0,146
19.	0,178	0,133	25,331	0,121 - 0,146
20.	0,191	0,133	30,413	0,121 - 0,146

Табела 5.1.5.8: Оцена на значајноста на факторите b(i)  
Table 5.1.5.8: Assessment of the significance of factors b(i)

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода F(i)	Сума на квадрати S(i)	Дисперзија S(i)/F(i)	Дисперзиони односи FR(i)	Оцена на значајноста на факторите b(i)
Индекс i	Кодиран b(i)	Декодиран p(i)					
0	-2,018	1,726	1	81,453	81,453	8759,4	Значаен
1	0,00373	0,0000	1	0,000222	0,000222	0,02389	Незначаен
2	0,83163	1,450	1	11,066	11,066	1190,0	Значаен
3	-0,04143	0,0000	1	0,027466	0,027466	3,0	Незначаен
4	-0,16160	-0,4662903	1	0,417853	0,417853	44,9	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.5.9: Оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ Table 5.1.5.9: Assessment of the significance of factors  $b(i)$ 

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрат и $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	-2,018	1,532	1	81,453	81,453	8759,4	Значаен
1	0,00373	0,0000	1	0,000222	0,000222	0,02389	Незначаен
2	0,83163	1,381	1	11,066	11,066	1190,0	Значаен
3	-0,04143	0,0000	1	0,027466	0,027466	3,0	Незначаен
4	-0,16160	0,4979391	1	0,417853	0,417853	44,9	Значаен
12	-0,01213	0,0000	1	0,002355	0,002355	0,25328	Незначаен
13	-0,01645	0,0000	1	0,004330	0,004330	0,46565	Незначаен
14	-0,05300	0,0000	1	0,044949	0,044949	4,8	Незначаен
23	0,02207	0,0000	1	0,007790	0,007790	0,83776	Незначаен
24	0,11089	0,5577178	1	0,196748	0,196748	21,2	Значаен
34	0,01948	0,0000	1	0,006073	0,006073	0,65313	Незначаен
123	-0,03170	0,0000	1	0,016076	0,016076	1,7	Незначаен
124	0,03620	0,0000	1	0,020968	0,020968	2,3	Незначаен
134	-0,04311	0,0000	1	0,029733	0,029733	3,2	Незначаен
234	-0,04222	0,0000	1	0,028519	0,028519	3,1	Незначаен
1234	-0,00333	0,0000	1	0,000178	0,000178	0,01913	Незначаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.5.10: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$ Table 5.1.5.10: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$ 

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	-2,018	1,534	1	81,453	81,453	8759,4	Значаен
1	0,0373	0,0108679	1	0,000222	0,000222	0,02389	Незначаен
2	0,83163	1,450	1	11,066	11,066	1190,0	Значаен
3	-	-	1	0,027466	0,027466	3,0	Незначаен
	0,04143	0,119547					
4	-	-	1	0,417853	0,417853	44,9	Значаен
	0,16160	0,4662903					
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			



Табела 5.1.5.11: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.5.11: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$

<b>БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ <math>b(i)</math></b>							
<b>Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство</b>							
<b>Коефициенти од математичкиот модел</b>			<b>Степен на слобода <math>F(i)</math></b>	<b>Сума на квадрати <math>S(i)</math></b>	<b>Дисперзија <math>S(i)/F(i)</math></b>	<b>Дисперзиони односи <math>FR(i)</math></b>	<b>Оцена на значајноста на факторите <math>b(i)</math></b>
<b>Индекс <math>i</math></b>	<b>Кодира ни <math>b(i)</math></b>	<b>Декодира ни <math>p(i)</math></b>					
0	-2,018	26,057	1	81.453	81,453	8759,4	Значаен
1	0,00373	- 0,6001939	1	0,000222	0.000222	0,02389	Незначаен
2	0,83163	3,225	1	11,066	11,066	1190,0	Значаен
3	-0,04143	3,744	1	0,027466	0,027466	3,0	Незначаен
4	-0,16160	1,185	1	0,417853	0,417853	44,9	Значаен
12	-0,01213	-0,382245	1	0,002355	0,002355	0,25328	Незначаен
13	-0,01645	-0,783094	1	0,004330	0,004330	0,46565	Незначаен
14	-0,05300	-0,263362	1	0,044949	0,044949	4,8	Незначаен
23	0.02207	2.222	1	0,007790	0,007790	0,83776	Незначаен
24	0,11089	1.841	1	0,196748	0,196748	21,2	Значаен
34	0,01948	4,973	1	0,006073	0,006073	0,65313	Незначаен
123	-0,03170	- 0,4476023	1	,016076	0,016076	1,7	Незначаен
124	0,03620	0.4506698	1	0,020968	0,020968	2,3	Незначаен
134	-0,04311	-1,291	1	0,029733	0,029733	3,2	Незначаен
234	-0,04222	0,0292071	1	0,028519	0,028519	3,1	Незначаен
1234	-0,00333	- 0.1411508	1	0,000178	0,000178	0,1913	Незначаен
<b>Ако е <math>FR(i) &lt; 10,130 \Rightarrow</math> незначаен</b>				<b>Ако е <math>FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow</math> значаен</b>			

Табела 5.1.5.12: Дисперзиона анализа  
 Table 5.1.5.12: Dispersion analysis

Table 6.10.12: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзни односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,835213	0,055681			
Грешка од експериментот	3	0,027897	0,009299			
Адекватност на моделот	12	0,807316	0,067276	7,235	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9656	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.5.13: Дисперзиона анализа

Table 5.1.5.13: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзни односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	0,862901	0,050759			
Грешка од експериментот	3	0,027897	0.009299			
Адекватност на моделот	14	0,835004	0,059643	6.414	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9644	
Ако е $FR < FT = >$ адекватен			Ако е $FR \geq FT = >$ неадекватен			

Табела 5.1.5.14: Дисперзиона анализа

Table 5.1.5.14: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперз ија S/F	Дисперзио ни односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватнос та на моделот
Резидуална сума	15	0.477488	0,031833			
Грешка од експериментот	3	0,027897	0,009299			
Адекватност на моделот	12	0,449592	0,037466	4,029	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9805	
Ако е $FR < FT = >$ адекватен			Ако е $FR \geq FT = >$ неадекватен			

Табела 5.1.5.15: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.5.15: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзија S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	0,666152	0,039185			
Грешка од експериментот	3	0,027897	0,009299			
Адекватност на моделот	14	0,638255	0,045590	4,903	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,9726	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.5.16: Пеглед на карактеристики за избор на варијанта на математички модел

Table 5.1.5.16: Overview of characteristics for choice of variant to a mathematical model

<b>ПРЕГЛЕД НА КАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ИЗБОР НА ВАРИЈАНТА НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ</b>				
<b>Карактеристики на математичкиот модел</b>	<b>Без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>
<b>Број на членови во полиномот</b>	5	3	16	4
<b>Пресметковен коефициент на адекватност на моделот</b>	7,235	6,414	4,029	4.903
<b>Табличен коефициент на адекватност на моделот</b>	8,740	8,710	8,740	8.710
<b>Оцена на адекватноста на моделот (адекватен/ неадекватен)</b>	Адекватен	Адекватен	Адекватен	Адекватен
<b>Резидуална сума</b>	0,8352132	0,8629009	0,4774882	0,6661521
<b>Грешка од експериментот</b>	0,0278967	0,0278967	0,0278967	0,0278967
<b>Коефициент на повеќекратна регресија</b>	0,96558	0,96442	0,98047	0,97265

### 5.1.6. Рапавост - Параметарот Rmr

Табела 5.1.6.1: Карактеристики на независно променливите големини

Table 5.1.6.1: Characteristics of independent variable sizes

КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕЗАВИСНО ПРОМЕНЛИВИТЕ ГОЛЕМИНИ					
Број	Означување	Ниво	Максимално	Средно	Минимално
		Код	1	0	-1
1.	v (mm/min.)	X 1	133,00	94,398	67,00
2.	f (mm/vrt.)	X 2	0,315	0,177	0,1
3.	a (mm)	X 3	0,8	0,566	0,4
4.	r <sub>g</sub> (mm)	X 4	1,6	1,131	0,8

Табела 5.1.6.2: Четирифакторен план на експерименти од прв ред

Table 5.1.6.2: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИ ФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД					
Ред. број	Реална план матрица – независно променливи големини				Измерена вредност
	v (m/min.)	f (mm/vr.)	a (mm)	r <sub>g</sub> (mm)	Rmr (%)
1.	67,00	0,1	0,4	0,8	38,500
2.	133,00	0,1	0,4	0,8	30,130
3.	67,00	0,315	0,4	0,8	25,870
4.	133,00	0,315	0,4	0,8	28,000
5.	67,00	0,1	0,8	0,8	23,130
6.	133,00	0,1	0,8	0,8	51,030
7.	67,00	0,315	0,8	0,8	29,030
8.	133,00	0,315	0,8	0,8	28,230
9.	67,00	0,1	0,4	1,6	33,500
10.	133,00	0,1	0,4	1,6	53,200
11.	67,00	0,315	0,4	1,6	36,370
12.	133,00	0,315	0,4	1,6	40,100
13.	67,00	0,1	0,8	1,6	39,170
14.	133,00	0,1	0,8	1,6	44,930
15.	67,00	0,315	0,8	1,6	30,100
16.	133,00	0,315	0,8	1,6	34,330
17.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	25,970
18.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	23,950
19.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	24,300
20.	94,00	0,177 (0,18)	0,566	1,13 (1,2)	19,930

Табела 5.1.6.3: Четирифакторен план на експерименти од прв ред

Table 5.1.6.3: Four factor plan of first order experiments

ЧЕТИРИФАКТОРЕН ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ ОД ПРВ РЕД						
Ред. број	Кодирана план матрица					Измерена вредност
	X 0	X 1	X 2	X 3	X 4	Rmr (%)
1.	1	-1	-1	-1	-1	38,500
2.	1	1	-1	-1	-1	30,130
3.	1	-1	1	-1	-1	25,870
4.	1	1	1	-1	-1	28,000
5.	1	-1	-1	1	-1	23,130
6.	1	1	-1	1	-1	51,030
7.	1	-1	1	1	-1	29,030
8.	1	1	1	1	-1	28,230
9.	1	-1	-1	-1	1	33,500
10.	1	1	-1	-1	1	53,200
11.	1	-1	1	-1	1	36,370
12.	1	1	1	-1	1	40,100
13.	1	-1	-1	1	1	39,,170
14.	1	1	-1	1	1	44,930
15.	1	-1	1	1	1	30.100
16.	1	1	1	1	1	34,330
17.	1	0	0	0	0	25,970
18.	1	0	0	0	0	23,950
19.	1	0	0	0	0	24,300
20.	1	0	0	0	0	19,930

Табела 5.1.6.4: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.6.4: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност Rmr (%)</b>	<b>Пресметковна вредност Rmr (%)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	38,500	29,183	24,201	21,956 - 38,787
2.	30,130	34,878	-15,757	26,241 - 46,357
3.	25,870	23,987	7,281	18,047 - 31,881
4.	28,000	28,667	-2,384	21,569 - 38,103
5.	23,130	28,404	-22,802	21,370 - 37,752
6.	51,030	33,947	33,476	25,541 - 45,120
7.	29,030	23,346	19,578	17,565 - 31,030
8.	28,230	27,902	1,160	20,993 - 37,086
9.	33,500	36,366	-8.557	27,361 - 48,336
10.	53,200	43,463	18,302	32,701 - 57,768
11.	36,370	29,891	17,814	22,489 - 39,729
12.	40,100	35,724	10,912	26,878 - 47,482
13.	39,170	35,396	9,635	26,631 - 47,046
14.	44,930	42,303	5,846	31,828 - 56,227
15.	30,100	29,094	3,344	21,889 - 38,669
16.	34,330	34,771	-1,285	26,161 - 46,215
17.	25,970	31,855	-22,659	28,361 - 35,778
18.	23,950	31,855	-33,004	28,361 - 35,778
19.	24,300	31,855	-31,089	28,361 - 35,778
20.	19,930	31,855	-59,832	28,361 - 35,778

Табела 5.1.6.5: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.6.5: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД БЕЗ МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност Rmr (%)</b>	<b>Пресметковна вредност Rmr (%)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	38,500	31,475	18,247	25,351 - 39,077
2.	30,130	31,475	-4,463	25,351 - 39,077
3.	25,870	25,871	-0,002	20,837 - 32,119
4.	28,000	25,871	7,605	20,837 - 32,119
5.	23,130	31,475	-36,078	25,351 - 39,077
6.	51,030	31,475	38,321	25,351 - 39,077
7.	29,030	25,871	10,883	20,837 - 32,119
8.	28,230	25,871	8,358	20,837 - 32,119
9.	33,500	39,223	-17,083	31,592 - 48,697
10.	53,200	39,223	26,273	31,592 - 48,697
11.	36,370	32,239	11,359	25,967 - 40,026
12.	40,100	32,239	19,604	25,967 - 40,026
13.	39,170	39,223	-0,135	31,592 - 48,697
14.	44,930	39,223	12,702	31,592 - 48,697
15.	30,100	32,239	-7,106	25,967 - 40,026
16.	34,330	32,239	6,091	25,967 - 40,026
17.	25,970	31,855	-22,659	28,376 - 35,760
18.	23,950	31,855	-33,005	28,376 - 35,760
19.	24,300	31,855	-31,089	28,376 - 35,760
20.	19,930	31,855	-59,832	28,376 - 35,760

Табела 5.1.6.6: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.6.6: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
<b>Ред. број</b>	<b>Измерена вредност Rmr (%)</b>	<b>Пресметковна вредност Rmr (%)</b>	<b>Грешка во (%)</b>	<b>95 % - Интервал на доверба</b>
1.	38,500	35,653	7,394	24,122 - 52,698
2.	30,130	27,902	7,394	18,877 - 41,241
3.	25,870	23,957	7,394	16,208 - 35,410
4.	28,000	25,930	7,394	17,543 - 38,326
5.	23,130	21,420	7,394	14,492 - 31,660
6.	51,030	47,257	7,394	31,972 - 69,848
7.	29,030	26,883	7,394	18,188 - 39,735
8.	28,230	26,143	7,394	17,687 - 38,640
9.	33,500	31,023	7,394	20,989 - 45,854
10.	53,200	49,266	7,394	33,332 - 72,819
11.	36,370	33,681	7,394	22,787 - 49,782
12.	40,100	37,135	7,394	25,124 - 54,888
13.	39,170	36,273	7,394	24,541 - 53,615
14.	44,930	41,608	7,394	28,150 - 61,499
15.	30,100	27,874	7,394	18,859 - 41,200
16.	34,330	31,791	7,394	21,509 - 46,990
17.	25,970	31,855	-22,659	29,173 - 34,782
18.	23,950	31,855	-33,004	29,173 - 34,782
19.	24,300	31,855	-31,089	29,173 - 34,782
20.	19,930	31,855	-59.832	29,173 - 34,782



Табела 5.1.6.7: Корелација на влезно-излезните информации за математичкиот модел  
Table 5.1.6.7: Correlation of the input-output information about the mathematical model

<b>КОРЕЛАЦИЈА НА ВЛЕЗНО-ИЗЛЕЗНИТЕ ИНФОРМАЦИИ ЗА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ ОД ПРВ РЕД СО МЕЃУСЕБНО ДЕЈСТВО И СО ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>				
Ред. број	Измерена вредност Rmr (%)	Пресметковна вредност Rmr (%)	Грешка во (%)	9% - Интервал на доверба
1.	38,00	34,574	10,197	27.361 - 43.689
2.	30,130	28,653	4,901	22,676 - 36,207
3.	25,870	23,551	8,962	18,638 - 29,760
4.	28,000	28,418	-1,492	22,489 - 35,910
5.	23,130	28,653	-23,880	22,676 - 36,207
6.	51,030	34,574	32,248	27.361 - 43,689
7.	29,030	28,418	2,108	22,489 - 35,910
8.	28,230	23,551	16,573	18,638 - 29,760
9.	33,500	35,707	-6,588	28,257 - 45,120
10.	53,200	43,085	19,013	34,096 - 54,443
11.	36,370	35,414	2,630	28,025 - 44,749
12.	40,100	29,349	26,811	23,226 - 37,086
13.	39,170	43,085	-9,995	34,096 - 54,443
14.	44,930	35,707	20,528	28,257 - 45,120
15.	30,100	29,349	2,495	23,226 - 37,086
16.	34,330	35,413	-3,156	28,025 - 44,749
17.	25,970	31,855	-22,659	28,612 - 35,465
18.	23,950	31,855	-33,005	28,612 - 35,465
19.	24,300	31,855	-31,089	28,612 - 35,465
20.	19,930	31,855	-59,832	28,612 - 35,465

Табела 5.1.6.8: Оцена на значајноста на факторите b(i)  
Table 5.1.6.8. Assessment of the significance of factors b(i)

<b>ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ b(i)</b>							
<b>Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство</b>							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода F(i)	Сума на квадрати S(i)	Дисперзија S(i)/F(i)	Дисперзиони односи FR(i)	Оцена на значајноста на факторите b(i)
Индекс i	Кодирани b(i)	Декодирани p(i)					
0	3,461	22,795	1	239,596	239,596	18630,6	Значаен
1	0,08913	0,0000	1	0,127120	0,127120	9,9	Незначаен
2	-0,09804	-0,170894	1	0,153796	0,153796	12,0	Значаен
3	-0,01352	0,0000	1	0,002926	0,002926	0,22753	Незначаен
4	0,11003	0,317493	1	0,193723	0,193723	15,1	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.6.9: Оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.6.9: Assessment of the significance of factors  $b(i)$

ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	3,461	205,295	1	239,596	239,596	18630,6	Значаен
1	0,08913	-0,483321	1	0,127120	0,127120	9,9	Незначаен
2	-0,09804	1,100	1	0,153796	0,153796	12,0	Значаен
3	-0,01352	3,858	1	0,002926	0,002926	0,22753	Незначаен
4	0,11003	-17,489	1	0,193723	0,193723	15,1	Значаен
12	-0,05410	-0,279556	1	0,046824	0,046824	3,6	Незначаен
13	0,03987	-0,848352	1	0,025432	0,025432	2,0	Незначаен
14	0,01447	3,916	1	0,003350	0,003350	0,26048	Незначаен
23	-0,01412	2,231	1	0,003190	0,003190	0,24806	Незначаен
24	0,00642	-10,300	1	0,000660	0,000660	0,05132	Незначаен
34	-0,03112	-31,256	1	0,015497	0,015497	1,2	Незначаен
123	-0,04902	-0,490693	1	0,038446	0,038446	3,0	Незначаен
124	0,00777	2,265	1	0,000967	0,000967	0,07520	Незначаен
134	-0,07630	6,873	1	0,093149	0,093149	7,2	Незначаен
234	-0,02738	-18,079	1	0,011993	0,011993	0,93256	Незначаен
1234	0,09392	3,975	1	0,141125	0,141125	11,0	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.6.10: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.6.9: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрати $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодирани $b(i)$	Декодирани $p(i)$					
0	3,461	6,834	1	239,596	239,596	18630,6	Значаен
1	0,08913	0,2599983	1	0,127120	0,127120	9,9	Незначаен
2	-0,09804	-0,1708942	1	0,153796	0,153796	12,0	Значаен
3	-0,01352	-0,0390200	1	0,002926	0,002926	0,22753	Незначаен
4	0,11003	0,3174936	1	0,193723	0,193723	15,1	Значаен
Ако е $FR(i) < 10,130 \Rightarrow$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10,130 \Rightarrow$ значаен			

Табела 5.1.6.11: Без оцена на значајноста на факторите  $b(i)$   
 Table 5.1.6.11: Without assessment of the significance of factors  $b(i)$

БЕЗ ОЦЕНА НА ЗНАЧАЈНОСТА НА ФАКТОРИТЕ $b(i)$							
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство							
Коефициенти од математичкиот модел			Степен на слобода $F(i)$	Сума на квадрат и $S(i)$	Дисперзија $S(i)/F(i)$	Дисперзиони односи $FR(i)$	Оцена на значајноста на факторите $b(i)$
Индекс $i$	Кодиран и $b(i)$	Декодира ни $p(i)$					
0	3,461	3678,630	1	239,596	239,596	18630,6	Значаен
1	0,08913	-1,125	1	0,127120	0,127120	9,9	Незначаен
2	-0,09804	4,262	1	0,153796	0,153796	12,0	Значаен
3	-0,01352	6,901	1	0,002926	0,002926	0,22753	Незначаен
4	0,11003	-14,622	1	0,193723	0,193723	15,1	Значаен
12	-0,05410	-0,978383	1	0,046824	0,046824	3,6	Незначаен
13	0,03987	-1,527	1	0,025432	0,025432	2,0	Незначаен
14	0,01447	3,179	1	0,003350	0,003350	0,26048	Незначаен
23	-0,01412	5,480	1	0,003190	0,003190	0,24806	Незначаен
24	0,00642	-11,012	1	0,000660	0,000660	0,05132	Незначаен
34	-0,03112	-23,775	1	0,015497	0,015497	1,2	Незначаен
123	-0,04902	-1,210	1	0,038446	0,038446	3,0	Незначаен
124	0,00777	2,379	1	0,000967	0,000967	0,07520	Незначаен
134	-0,07630	5,020	1	0,093149	0,093149	7,2	Незначаен
234	-0,02738	-18,476	1	0,011993	0,011993	0,93256	Незначаен
1234	0,09392	3,975	1	0,141125	0,141125	11,0	Значаен
Ако е $FR(i) < 10.130 = >$ незначаен				Ако е $FR(i) \geq 10.130 = >$ значаен			

Табела 5.1.6.12: Без оцена на значајноста на факторите b(i)  
Table 5.1.6.12: Without assessment of the significance of factors b(i)

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзни односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,891313	0,059421			
Грешка од експериментот	3	0,038581	0,012860			
Адекватност на моделот	12	0,852732	0,071061	5,526	8,740	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,5907	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.6.13: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.6.13: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзиони односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	1,021	0,060080			
Грешка од експериментот	3	0,038581	0,012860			
Адекватност на моделот	14	0,982778	0,070198	5,459	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0.5039	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.6.14: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.6.14: Dispersion analysis

ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрати S	Дисперзија S/F	Дисперзиони односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	15	0,510679	0,034045			
Грешка од експериментот	3	0,038581	0,012860			
Адекватност на моделот	12	0,472099	0,039342	3,059	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0.7918	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.6.15: Дисперзиона анализа  
Table 5.1.6.15: Dispersion analysis

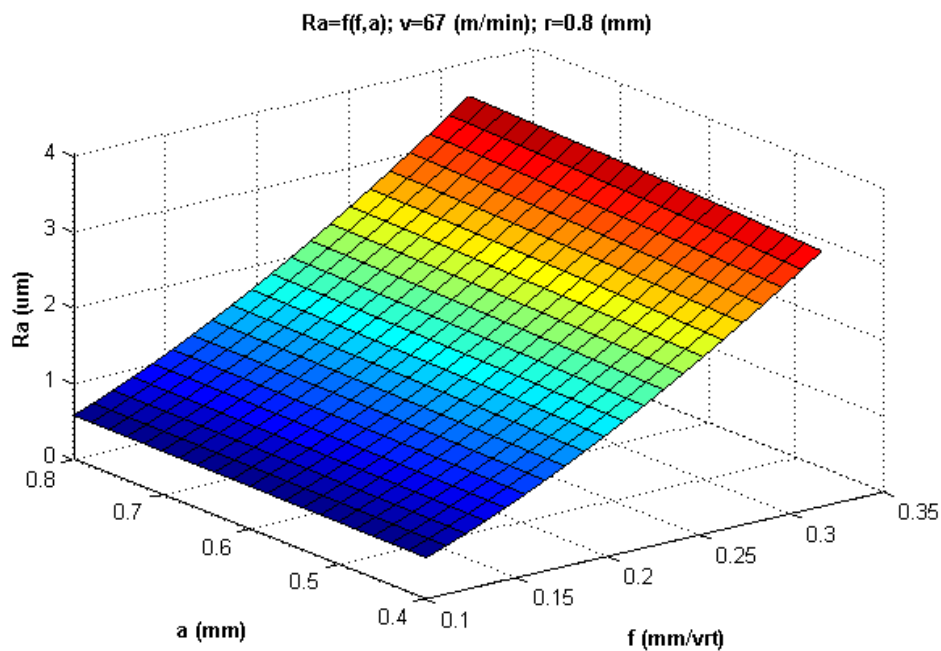
ДИСПЕРЗИОНА АНАЛИЗА						
Математички модел од прв ред со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста на факторите b(i)						
	Степен на слобода F	Сума на квадрат и S	Дисперзија S/F	Дисперзион и односи FR	Таблична вредност FT	Оцена на адекватноста на моделот
Резидуална сума	17	0,880236	0,051779			
Грешка од експериментот	3	0,038581	0,012860			
Адекватност на моделот	14	0,841656	0,060118	4,675	8,710	Адекватен
Коефициент на повеќекратна регресија					0,5975	
Ако е $FR < FT \Rightarrow$ адекватен			Ако е $FR \geq FT \Rightarrow$ неадекватен			

Табела 5.1.6.16: Преглед на карактеристики за избор на варијанта на математички модел

Table 5.1.6.16: Overview of characteristics for choice of variant to a mathematical model

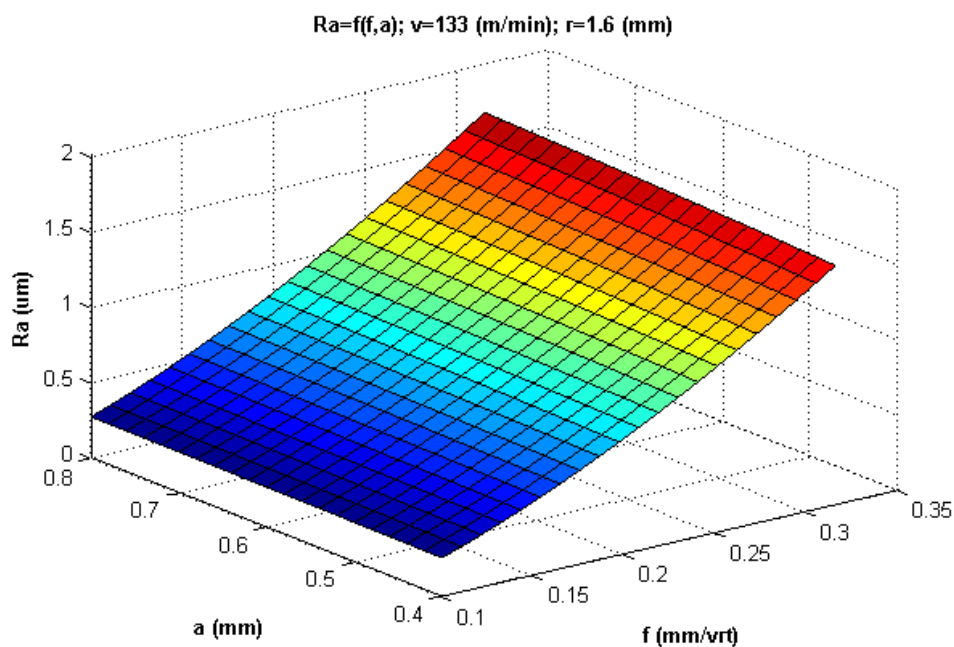
<b>ПРЕГЛЕД НА КАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ИЗБОР НА ВАРИЈАНТА НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ</b>				
<b>Карактеристики на математичкиот модел</b>	<b>Без меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Без меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и без оцена на значајноста</b>	<b>Со меѓусебно дејство и со оцена на значајноста</b>
<b>Број на членови во полиномот</b>	5	3	16	4
<b>Пресметковен коефициент на адекватност на моделот</b>	5,526	5,459	3,059	4,675
<b>Табличен коефициент на адекватност на моделот</b>	8,740	8,710	8,740	8.710
<b>Оцена на адекватноста на моделот (адекватен/неадекватен)</b>	Адекватен	Адекватен	Адекватен	Адекватен
<b>Резидуална сума</b>	0,8913128	1,021	0,5106795	0,8802364
<b>Грешка од експериментот</b>	0,0385809	0,0385809	0,0385809	0,0385809
<b>Коефициент на повеќекратна регресија</b>	0,59066	0,50386	0,79179	0,59747

### 5.3. ГРАФИЧКА ИНТЕРПРЕТАЦИЈА НА МАТЕМАТИЧКИТЕ МОДЕЛИ



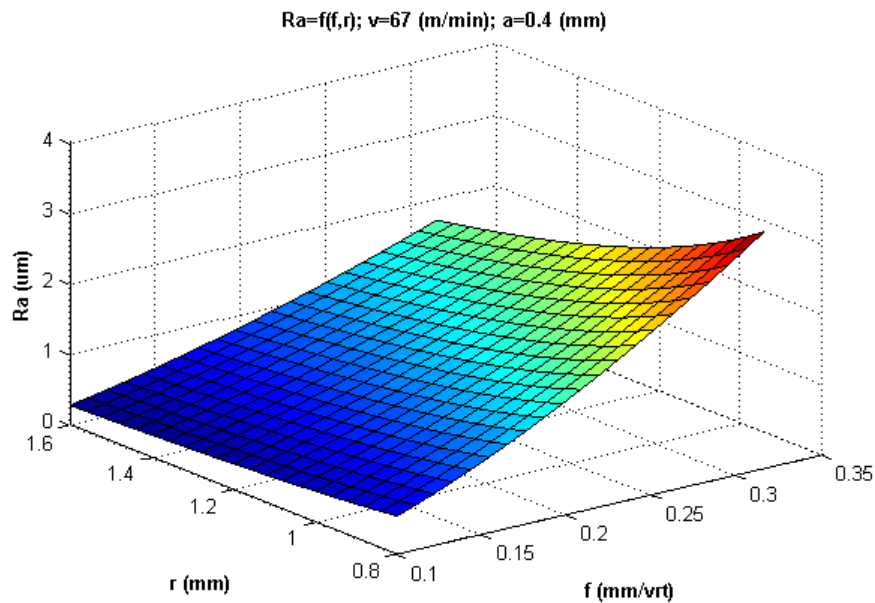
**Слика 5.3.5а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=67$  (m/min) и  $r_\epsilon=0,8$  (mm)

Figure 5.3.5a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the feed rate  $f$  (mm /rev) and the cutting depth  $a$  (mm), at  $v=67$  (m/min) and  $r_\epsilon=0.8$  (mm)



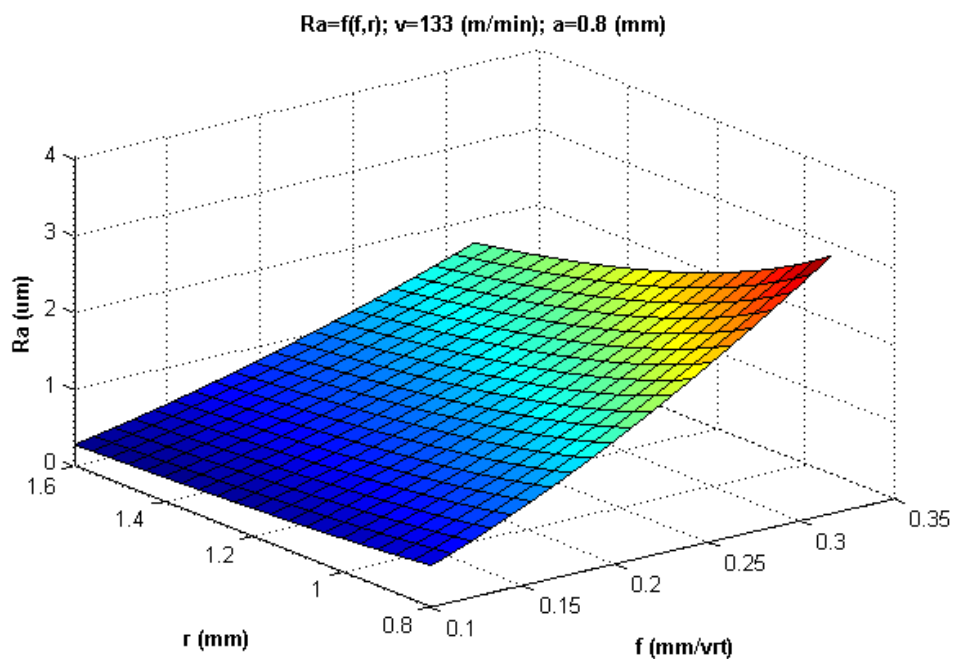
**Слика 5.3.6а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=133$  (m/min) и  $r_\epsilon=1,6$  (mm)

Figure 5.3.6a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the feed rate  $f$  (mm/rev) and the cutting depth, at  $v=133$  (m/min) and  $r_\epsilon=1,6$  (mm)



**Слика 5.3.7а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=67 \text{ (m/min)}$  и  $a=0,4 \text{ (mm)}$

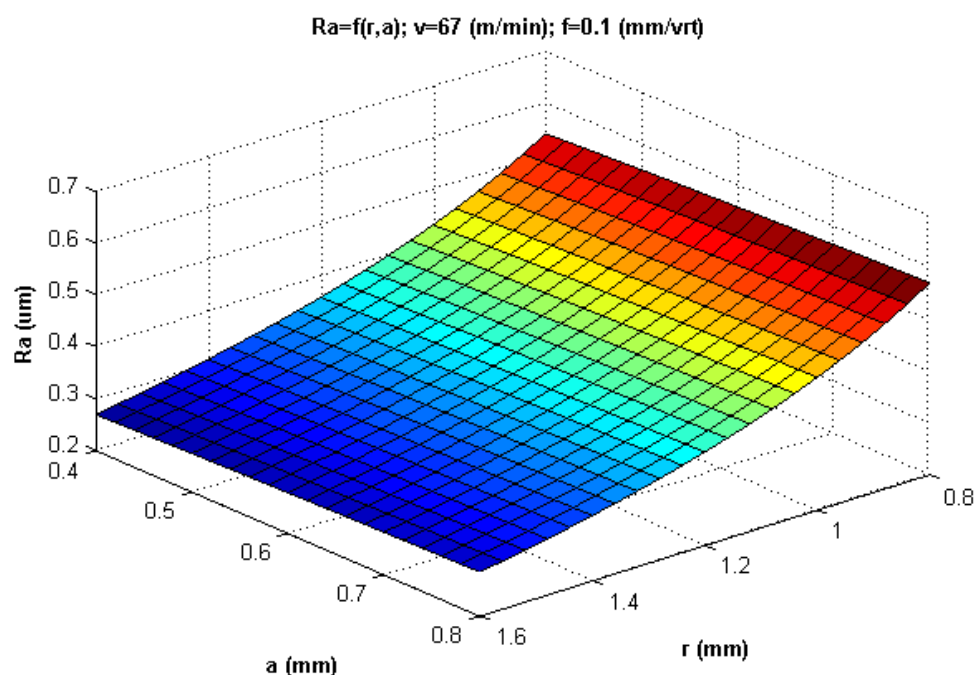
Figure 5.3.7a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in the function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $v=67 \text{ (m/min)}$  and  $a=0,4 \text{ (mm)}$



**Слика 5.3.8а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=133 \text{ (m/min)}$  и  $a=0,8 \text{ (mm)}$

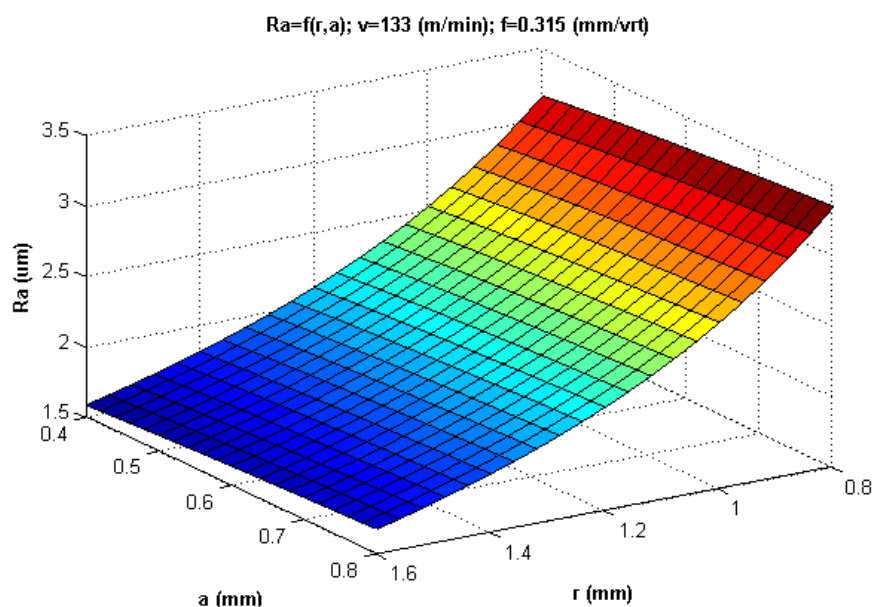
Figure 5.3.7a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev.}$ ) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $v=133 \text{ (m/min)}$  and  $a=0,8 \text{ (mm)}$





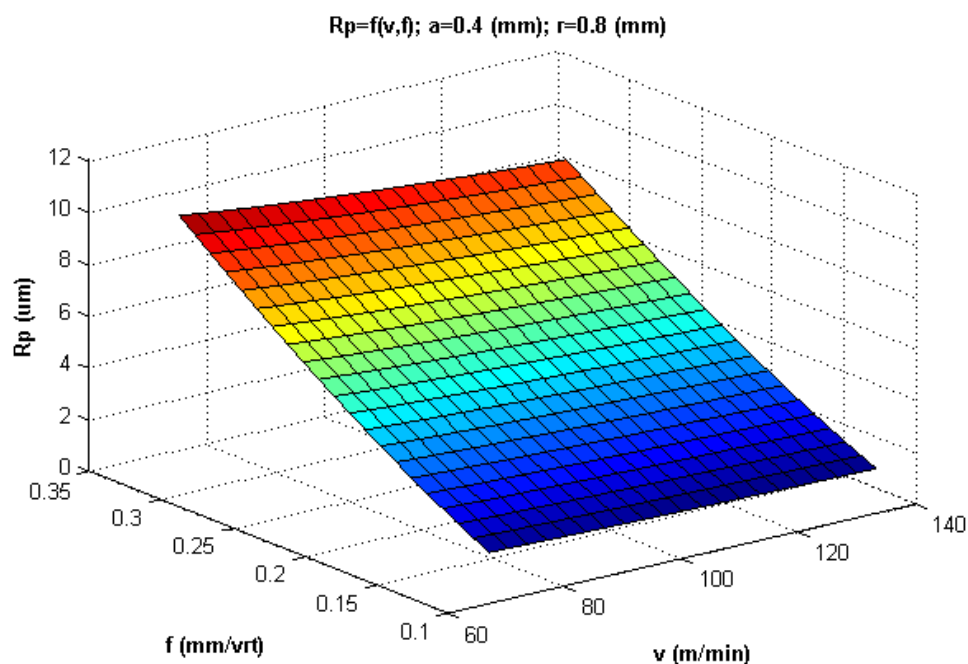
**Слика 5.3.9а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra \text{ (}\mu\text{m)}$  во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon \text{ (mm)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v=67 \text{ (m/min)}$  и  $f=0,1 \text{ (mm/vrt)}$

Figure 5.3.9a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra(\mu\text{m})$  in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon \text{ (mm)}$   $f \text{ (mm /vrt)}$ , at  $v=67 \text{ (m/min)}$  and  $f=0,1 \text{ (mm/rev)}$

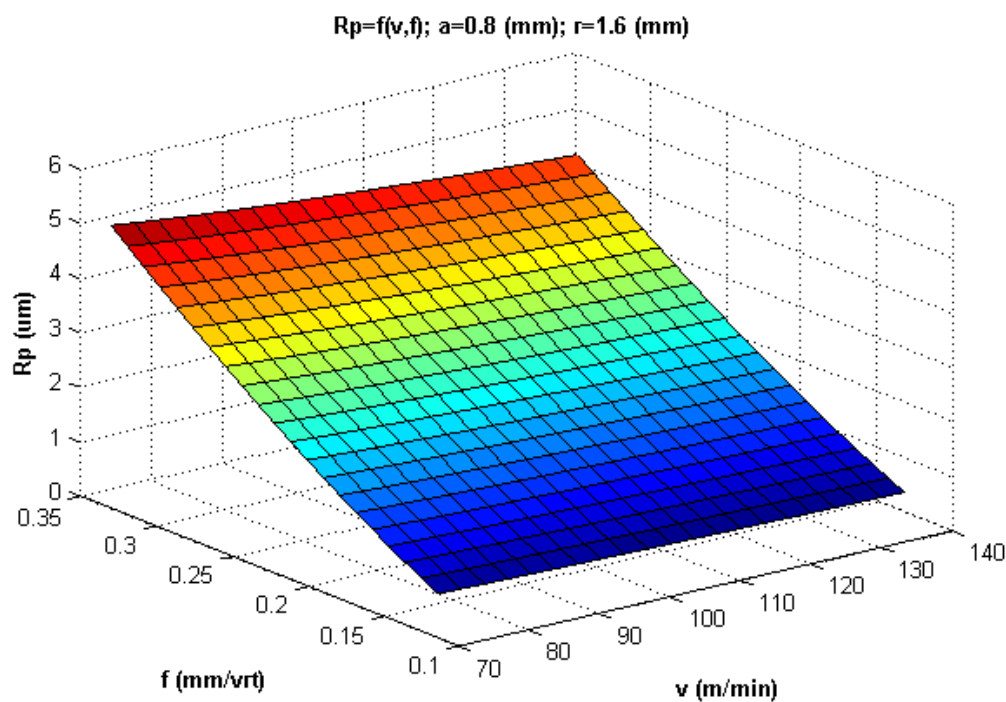


**Слика 5.3.10а:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Ra \text{ (}\mu\text{m)}$  во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon \text{ (mm)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v=133 \text{ (m/min)}$  и  $f=0,315 \text{ (mm/vrt)}$

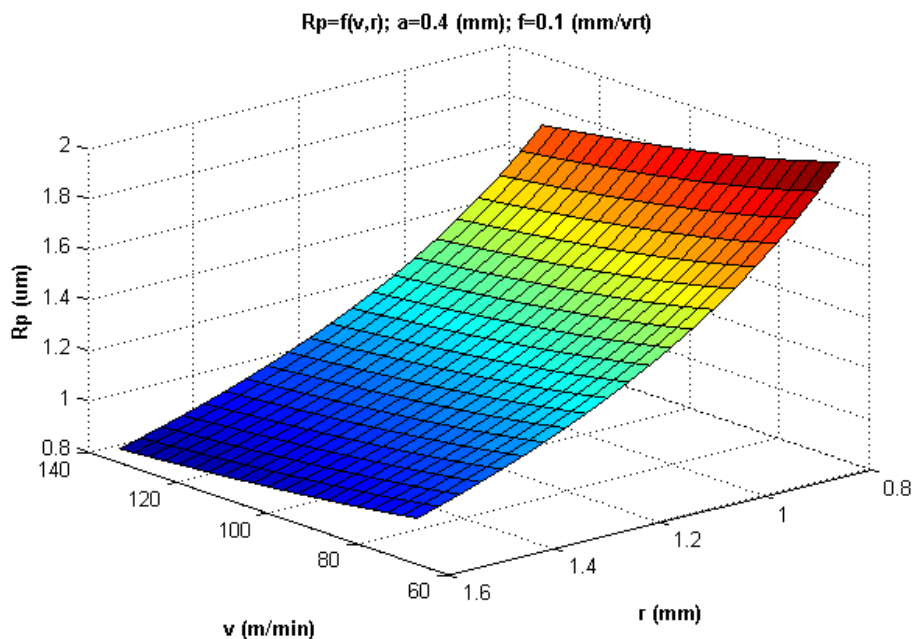
Figure 5.3.10a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra(\mu\text{m})$  in function of the cutting depth  $a \text{ (mm)}$  and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon \text{ (mm)}$ , at  $v=133 \text{ (m/min)}$  and  $f=0,315 \text{ (mm/rev)}$



**Слика 5.3.16:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,4$  (mm) и  $r_\epsilon=0,8$  (mm)  
 Figure 5.3.16: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and the feed rate  $f$  (mm/rev), at  $a=0,4$  (mm) and  $r_\epsilon=0,8$  (mm)

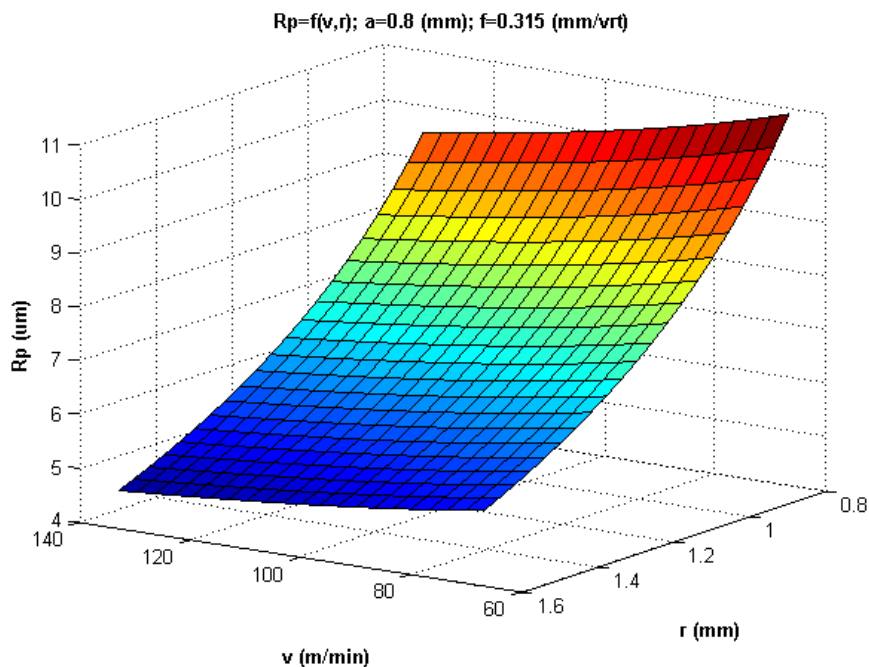


**Слика 5.3.26:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,8$  (mm) и  $r_\epsilon=1,6$  (mm)  
 Figure 5.3.26: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and the feed rate  $f$  (mm/rev), at  $a=0,8$  (mm) and  $r_\epsilon=1,6$  (mm)



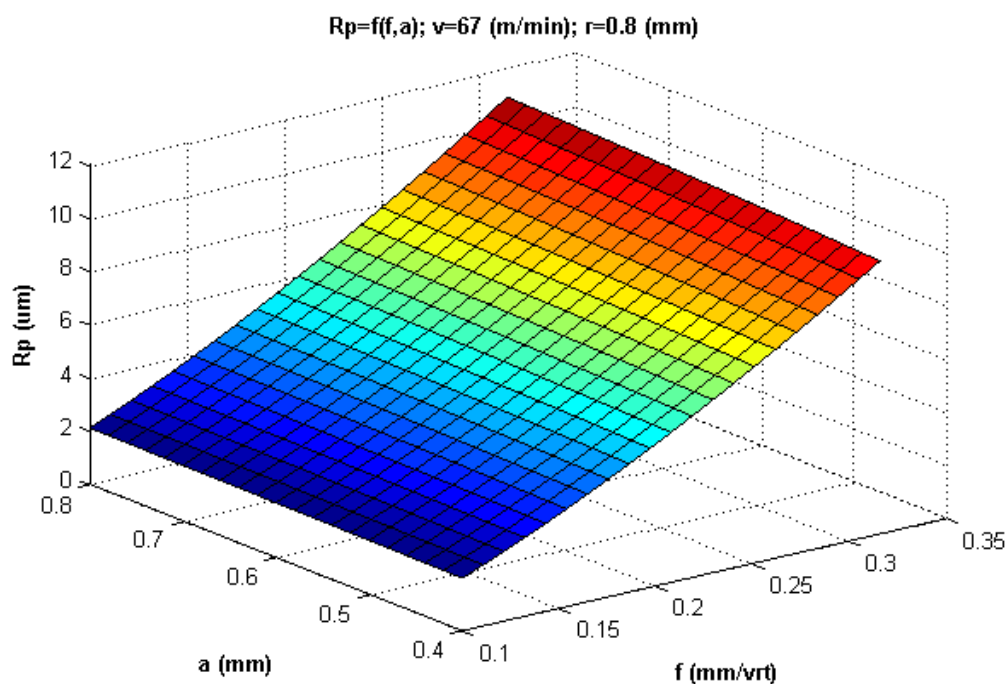
**Слика 5.3.36:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,4$  (mm) и  $f=0,1$  (mm/vrt)

Figure 5.3.36: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and the cueting plate nose radius  $f$  (mm /vrt), at  $a=0,4(\text{mm})$  and  $f$  (mm)=0,1 (mm/rev)

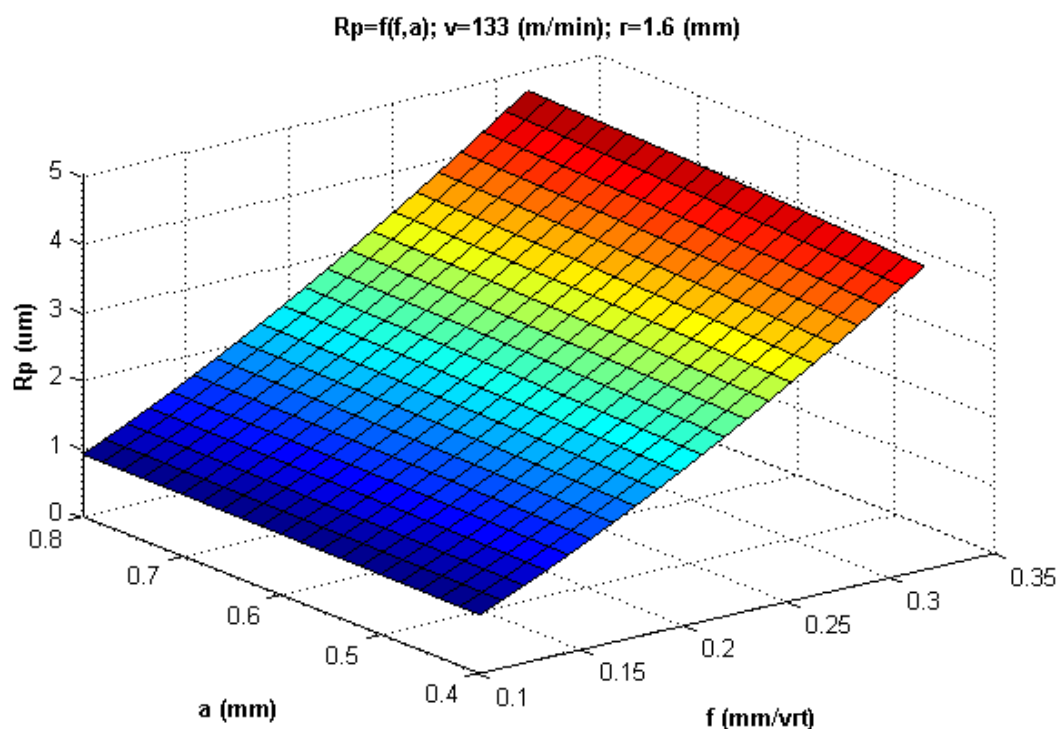


**Слика 5.3.46:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,8$  (mm) и  $f=0,315$  (mm/vrt)

Figure 5.3.46: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and the cueting plate nose radius  $r_\epsilon(\text{mm})$ , at  $a=0,8(\text{mm})$  and  $f$  (mm)=0,315 (mm/rev)

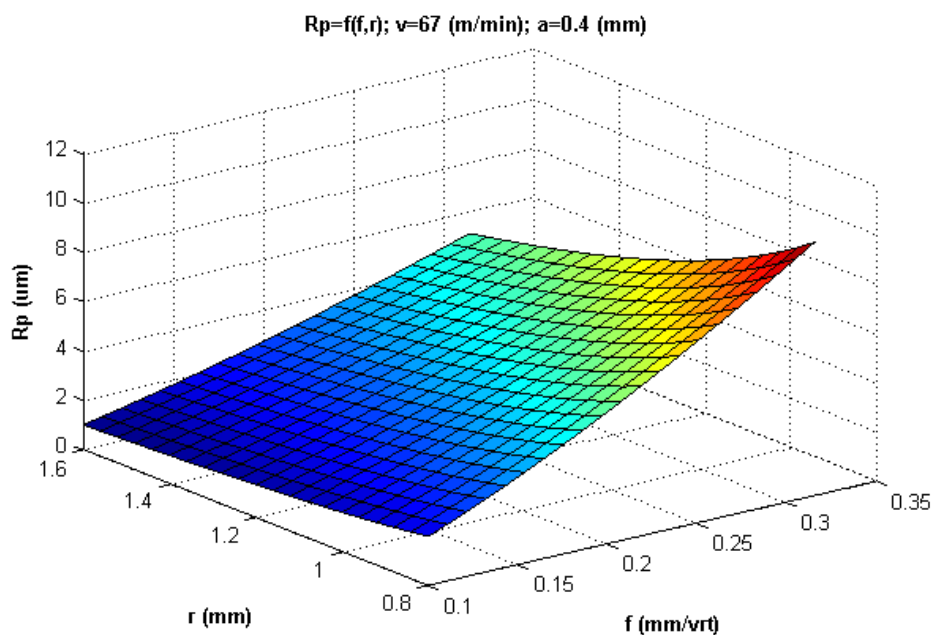


**Слика 5.3.56:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и длабочината на режење  $a$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=67 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon=0,8 \text{ (mm)}$   
 Figure 5.3.56: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cuuting depth  $a$  ( $\text{mm}$ ), at  $r_\epsilon = 0,8(\text{mm})$  and  $v=67(\text{m/min})$



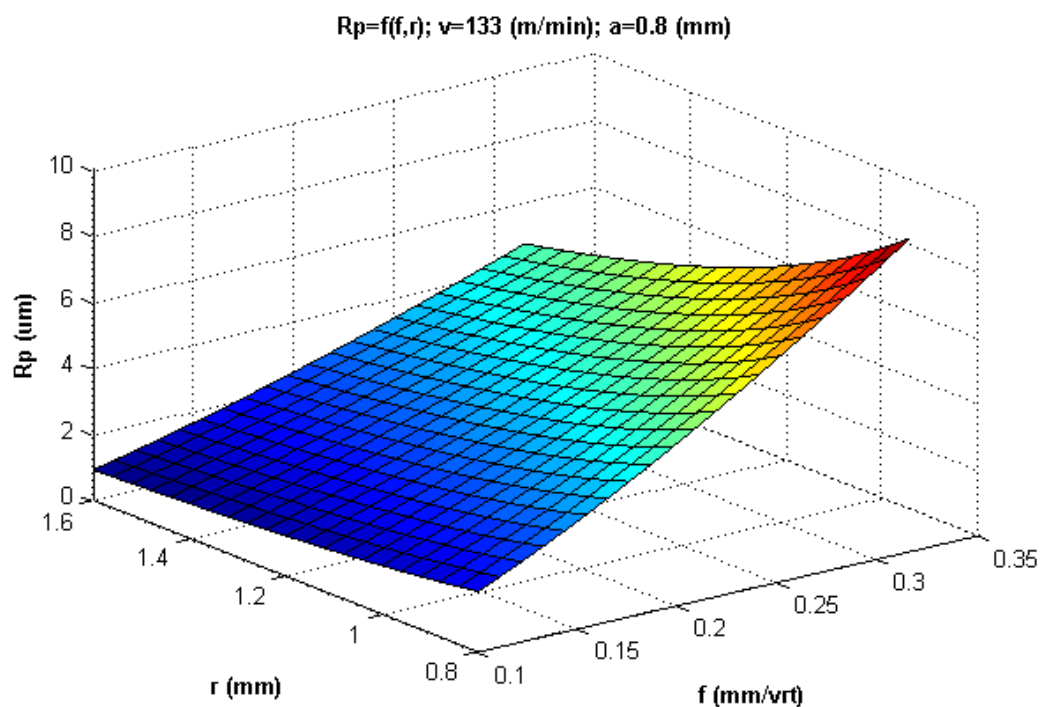
**Слика 5.3.66:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и длабочината на режење  $a$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=133 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon=1,6 \text{ (mm)}$

Figure 5.3.66: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cuuting depth  $a(\text{mm})$ , at  $r_\epsilon = 1,6 \text{ (mm)}$  and  $v=133 \text{ (m/min)}$



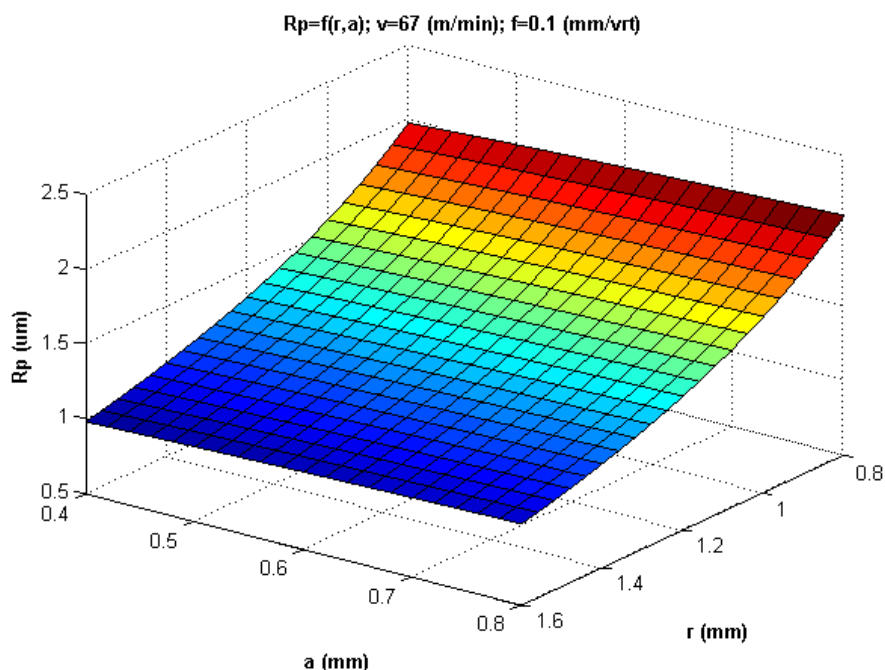
**Слика 5.3.76:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=67 \text{ (m/min)}$  и  $a=0,4 \text{ (mm)}$

Figure 5.3.76: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $a=0,4(\text{mm})$  and  $v=67(\text{m/min})$



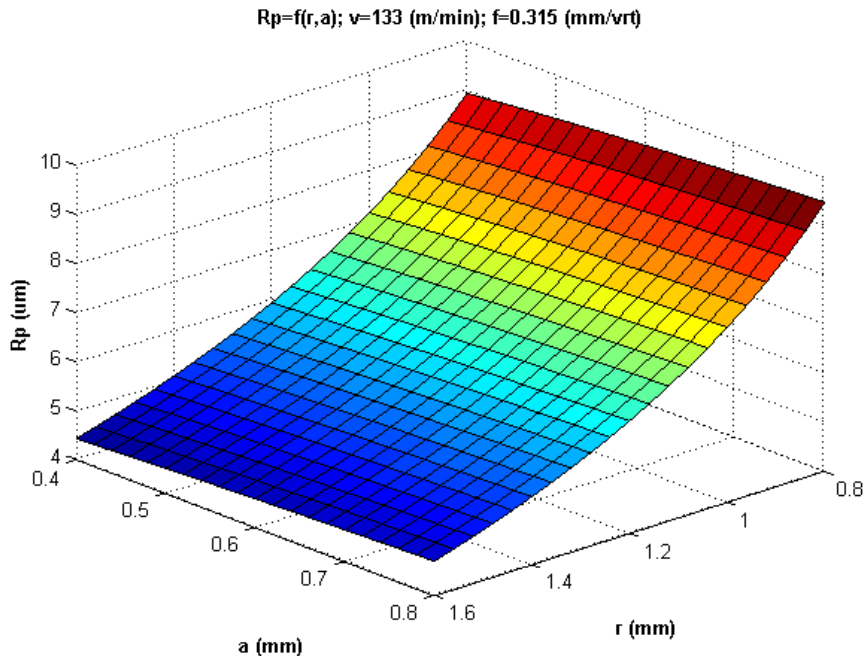
**Слика 5.3.86:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=133 \text{ (m/min)}$  и  $a=0,8 \text{ (mm)}$

Figure 5.3.86: Graphic display of the roughness parameter  $R_a(\mu\text{m})$  in function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $v=133 \text{ (m/min)}$  and  $a=0,8 \text{ (mm)}$



**Слика 5.3.9б:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p \text{ (}\mu\text{m)}$  во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon \text{ (mm)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v = 67 \text{ (m/min)}$  и  $f = 0.1 \text{ (mm/vrt)}$

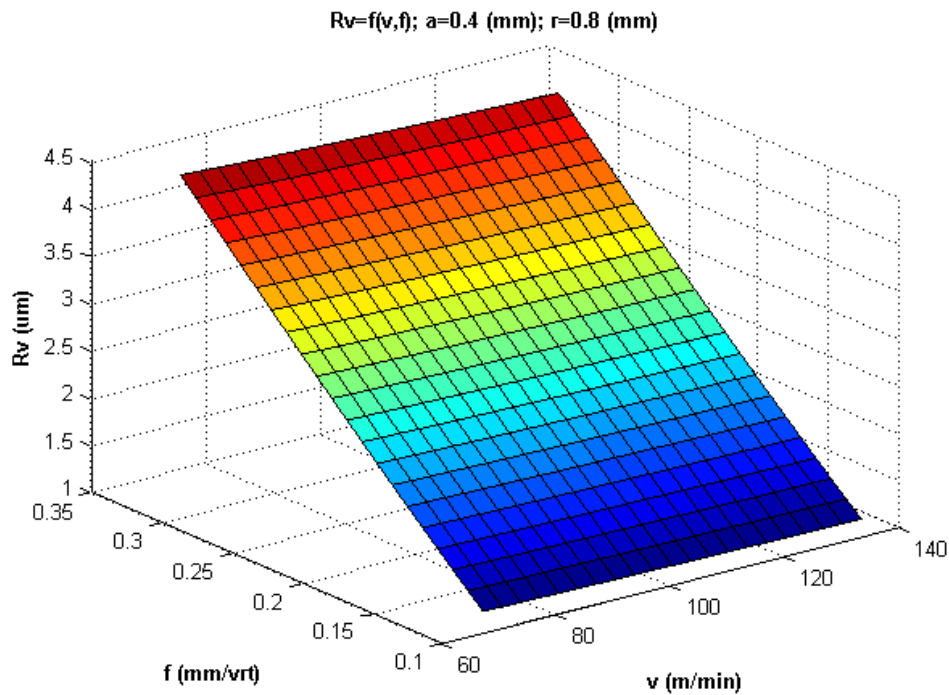
Figure 5.3.9б: Graphic display of the roughness parameter  $R_p \text{ (}\mu\text{m)}$  in function of the the cuuting plate nose radius  $r_\epsilon \text{ (mm)}$  and the cuuting depth  $a \text{ (mm)}$ , at  $v = 67 \text{ (m/min)}$  and  $f = 0.8 \text{ (mm/rev)}$



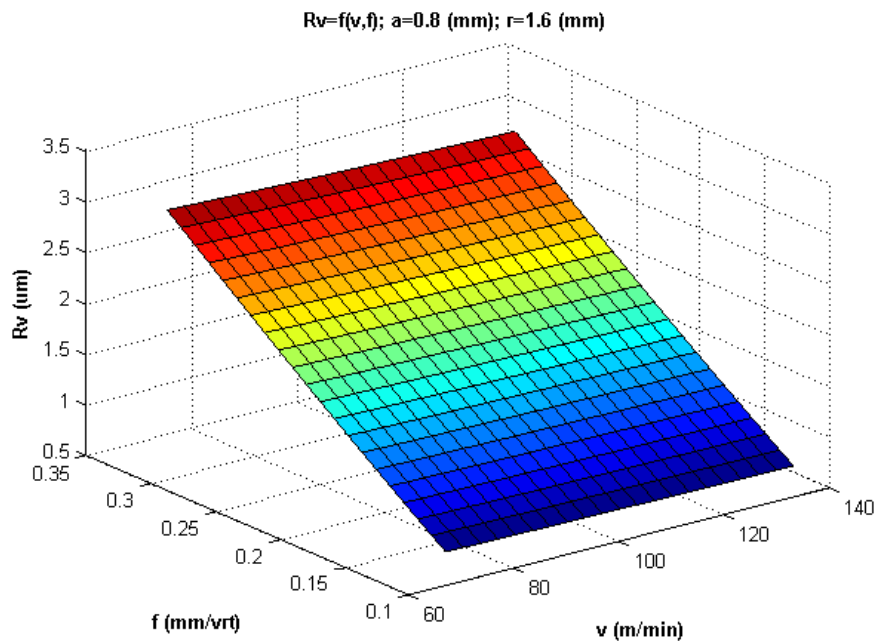
**Слика 5.3.10б:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p \text{ (}\mu\text{m)}$  во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon \text{ (mm)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v = 133 \text{ (m/min)}$  и  $f = 0.315 \text{ (mm/vrt)}$

Figure 5.3.10б: Graphic display of the roughness parameter  $R_p \text{ (}\mu\text{m)}$  in function of the cuuting plate nose radius  $r_\epsilon \text{ (mm)}$  and the cuuting depth  $a \text{ (mm)}$ , at  $v = 133 \text{ (m/min)}$  and  $f = 0.315 \text{ (mm/rev)}$

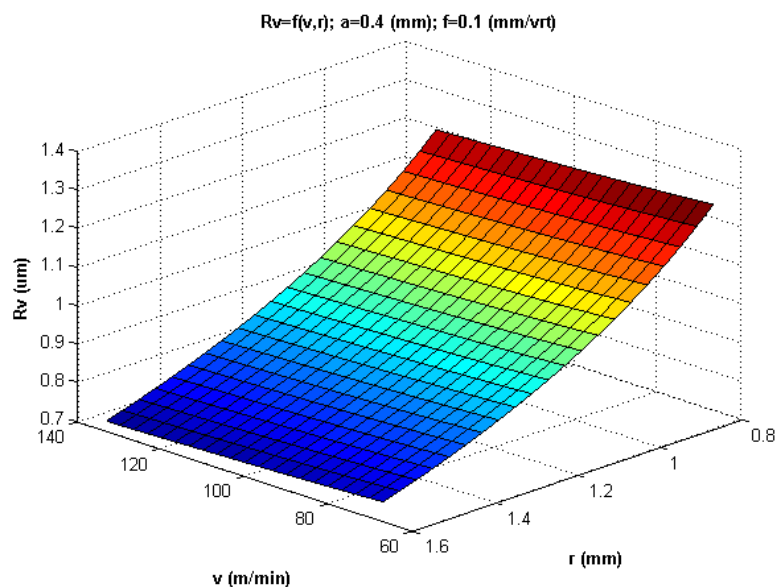




**Слика 5.3.1в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,4$  (mm) и  $r_\epsilon=0,8$  (mm)  
 Figure 5.3.1в: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/rev.), at  $a=0,4$  (mm) and  $r_\epsilon=0,8$  (mm)

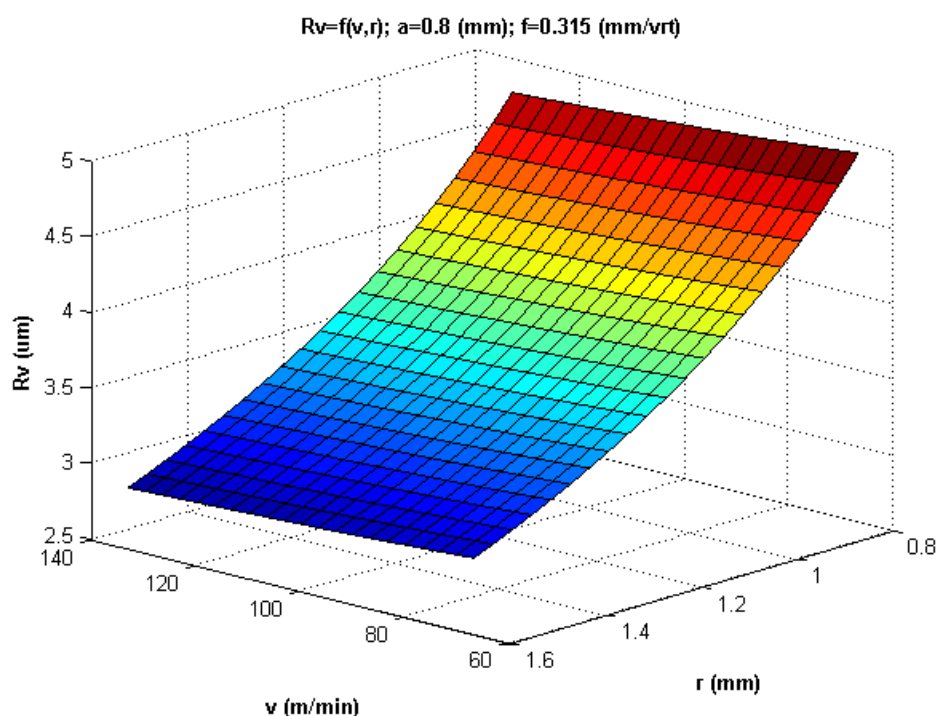


**Слика 5.3.2в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,8$  (mm) и  $r_\epsilon=1,6$  (mm)  
 Figure 5.3.1v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/rev), at  $a=0,8$  (mm)  $r_\epsilon=1,6$  (mm)



**Слика 5.3.3в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  ( $\text{m/min}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $a = 0,4 \text{ (mm)}$  и  $f = 0,1 \text{ (mm/vrt)}$

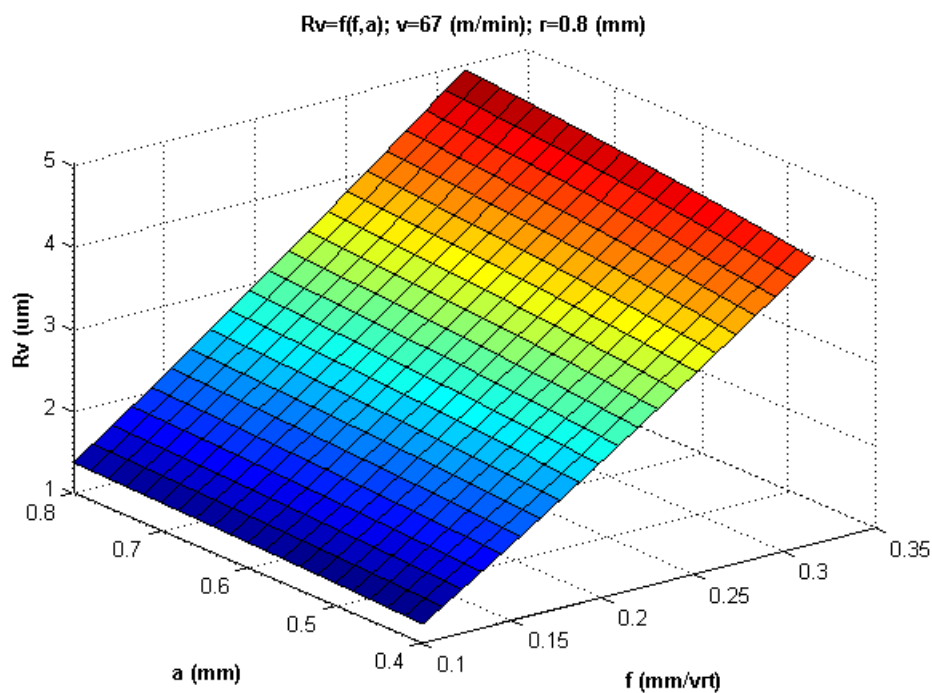
Figure 5.3.3v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $f$  ( $\text{mm /min}$ ) and the cutting plate nose radius  $a(\text{mm})$   $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $a = 0,4(\text{mm})$  and  $f = 0,1$   $0 \text{ (mm/rev)}$



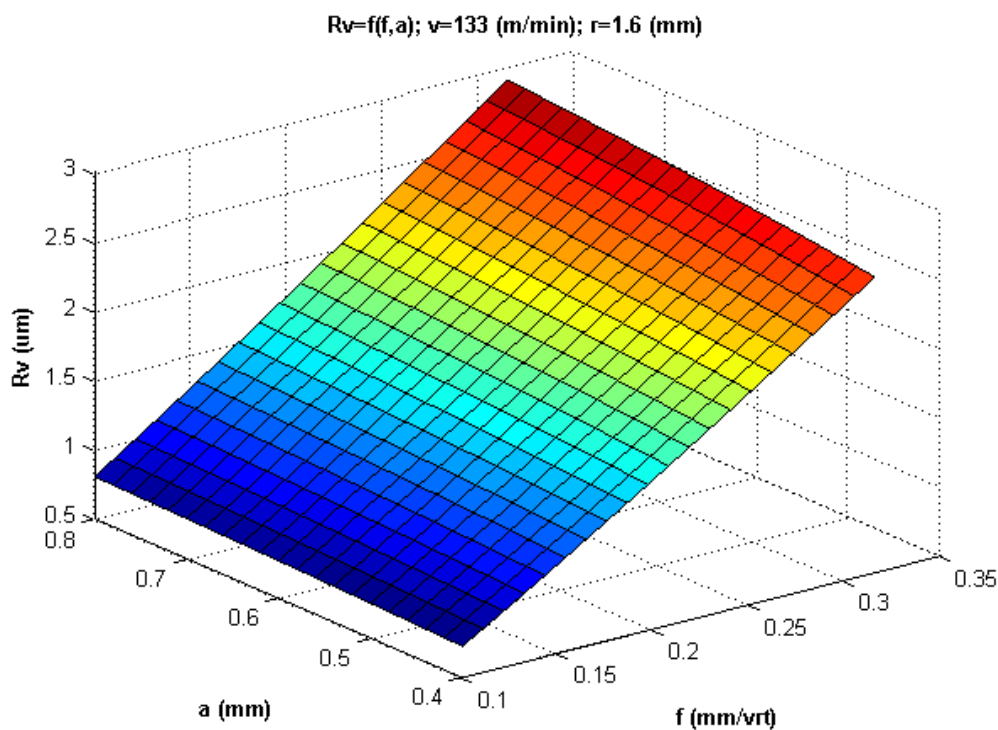
**Слика 5.3.4в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  ( $\text{m/min}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $a = 0,8 \text{ (mm)}$  и  $f = 0,315 \text{ (mm/vrt)}$

Figure 5.3.4v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $f$  ( $\text{mm /min}$ ) and the cutting plate nose radius  $a(\text{mm})$   $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $a = 0,8 \text{ (mm)}$  and  $f = 0,315 \text{ (mm/rev)}$

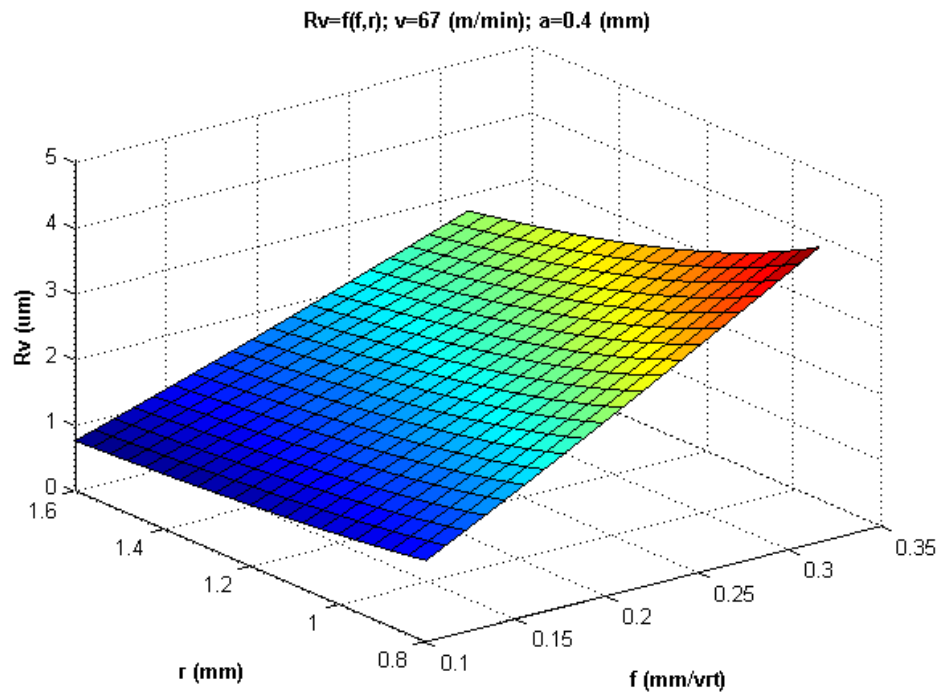




**Слика 5.3.5в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v \text{ (}\mu\text{m)}$  во функција од поместот  $f \text{ (mm/vrt)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v = 67 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon = 0,8 \text{ (mm)}$ .  
 Figure 5.3.5v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a \text{ (}\mu\text{m)}$  in function of the feed rate  $f \text{ (mm /rev)}$  and the cutting depth  $a \text{ (mm)}$ , at  $v = 67 \text{ (m/min)}$  and  $r_\epsilon = 0.8 \text{ (mm)}$ .

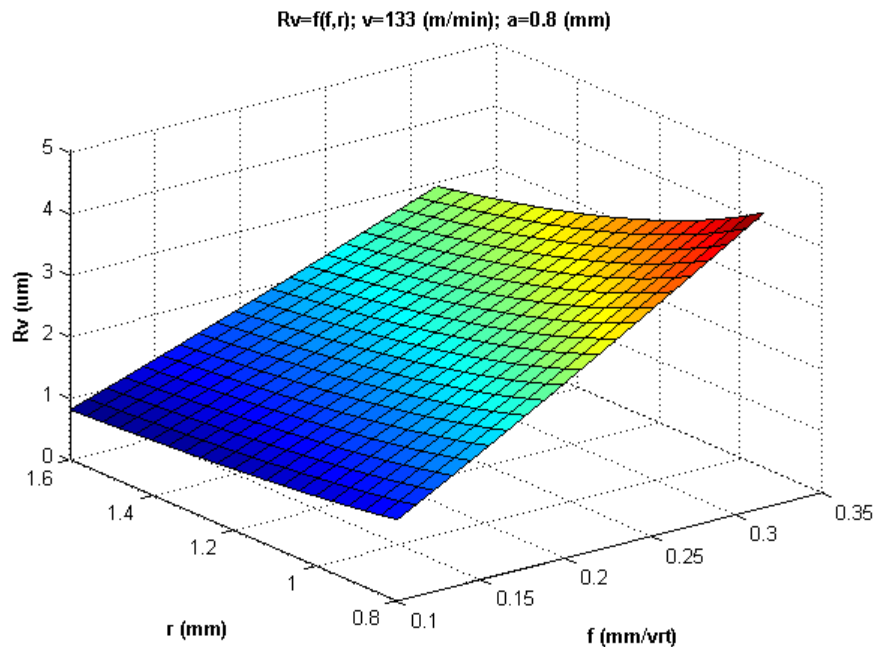


**Слика 5.3.6в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_p \text{ (}\mu\text{m)}$  во функција од поместот  $f \text{ (mm/vrt)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v = 133 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon = 1,6 \text{ (mm)}$ .  
 Figure 5.3.6v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a \text{ (}\mu\text{m)}$  in function of the feed rate  $f \text{ (mm /rev)}$  and the cutting depth  $a \text{ (mm)}$ , at  $v = 67 \text{ (m/min)}$  and  $r_\epsilon = 0.8 \text{ (mm)}$



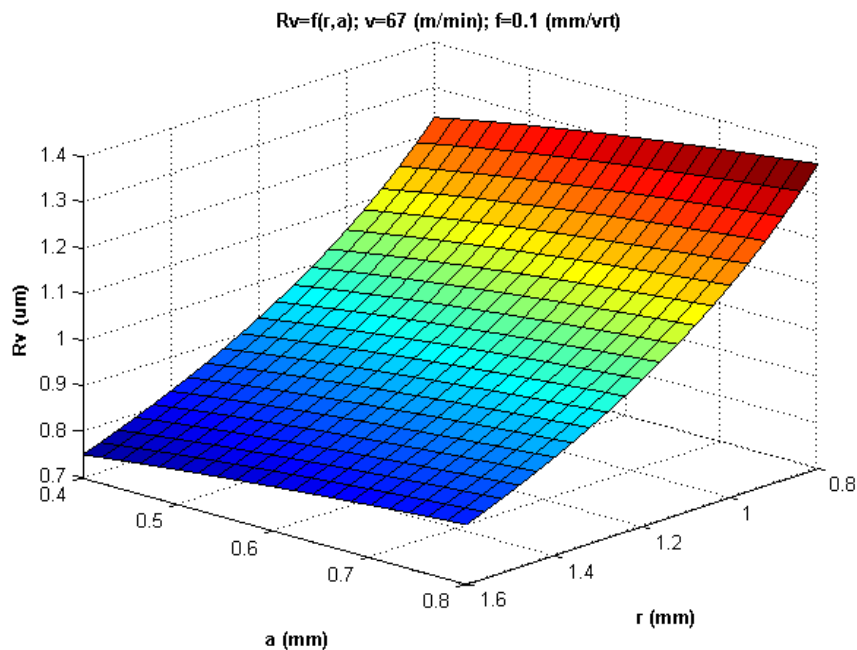
**Слика 5.3.7в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=67$  ( $\text{m/min}$ ) и  $a=0,4$  ( $\text{mm}$ )

Figure 5.3.7v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in the function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $v=67$  ( $\text{m/min}$ ) and  $a=0,4$  ( $\text{mm}$ )



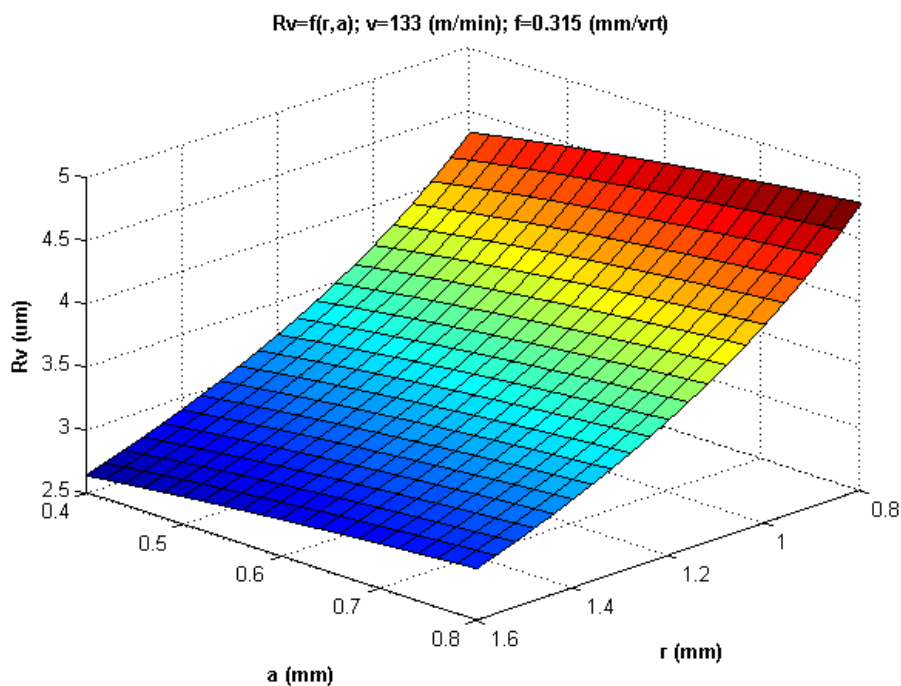
**Слика 5.3.8в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=133$  ( $\text{m/min}$ ) и  $a=0,8$  ( $\text{mm}$ )

Figure 5.3.8v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in the function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $v=133$  ( $\text{m/min}$ ) and  $a=0,8$  ( $\text{mm}$ )



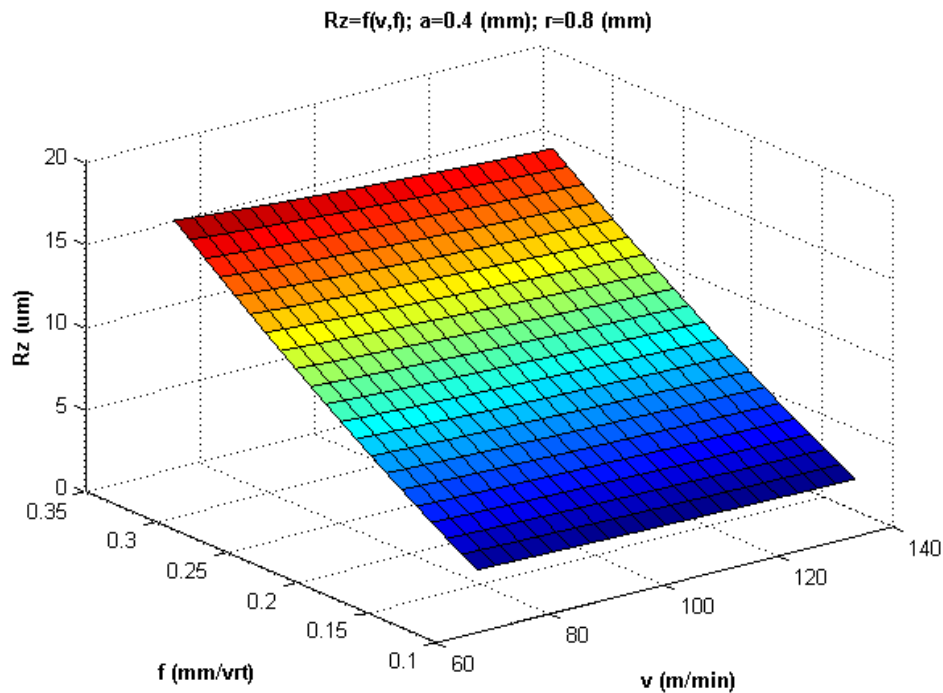
**Слика 5.3.9в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v = 67 \text{ (m/min)}$  и  $f = 0,1 \text{ (mm/vrt)}$

Figure 5.3.9v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm), at  $v = 67 \text{ (m/min)}$  and  $f = 0,1 \text{ (mm/rev)}$

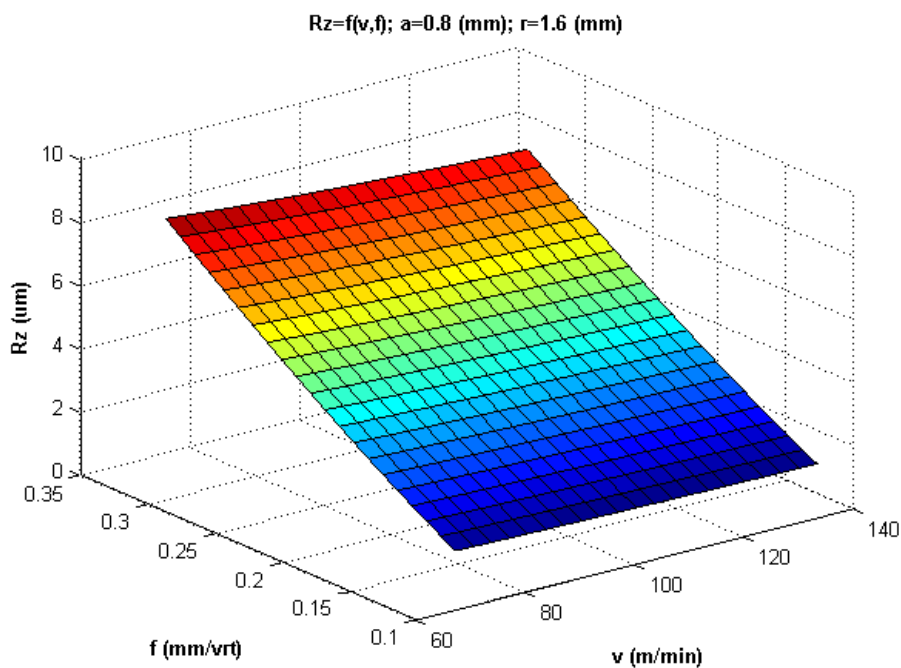


**Слика 5.3.10в:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v = 133 \text{ (m/min)}$  и  $f = 0,315 \text{ (mm/vrt)}$

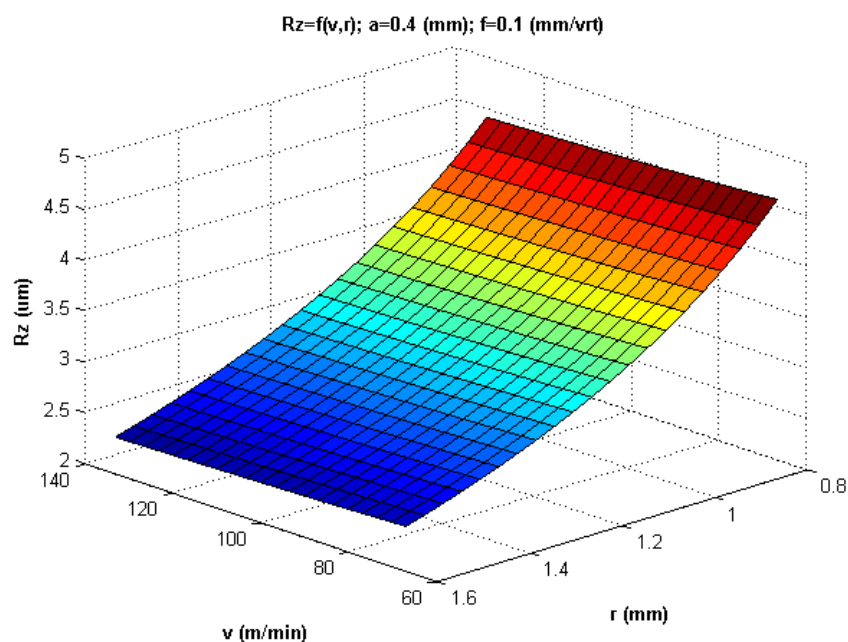
Figure 5.3.10v: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm), at  $v = 67 \text{ (m/min)}$  and  $f = 0,315 \text{ (mm/rev)}$



**Слика 5.3.1г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,4$  (mm) и  $r_\epsilon=0,8$  (mm)  
 Figure 5.3.1g: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/rev), at  $a=0,4$  (mm) and  $r_\epsilon=0,8$  (mm)

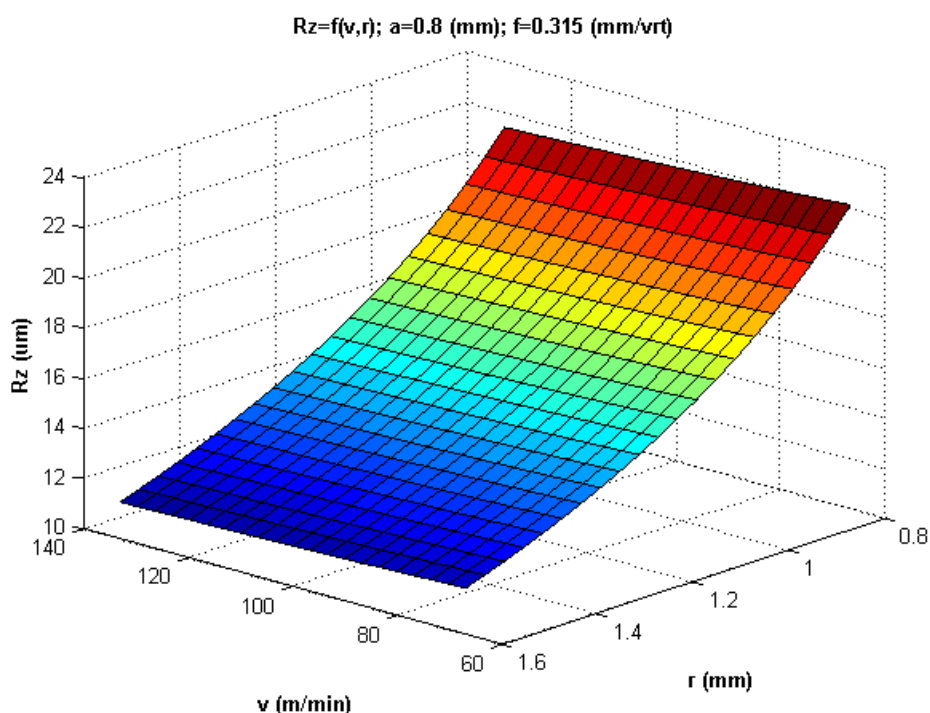


**Слика 5.3.2г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,8$  (mm) и  $r_\epsilon=1,6$  (mm)  
 Figure 5.3.2g: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/rev), at  $a=0,8$  (mm) and  $r_\epsilon=1,6$  (mm)



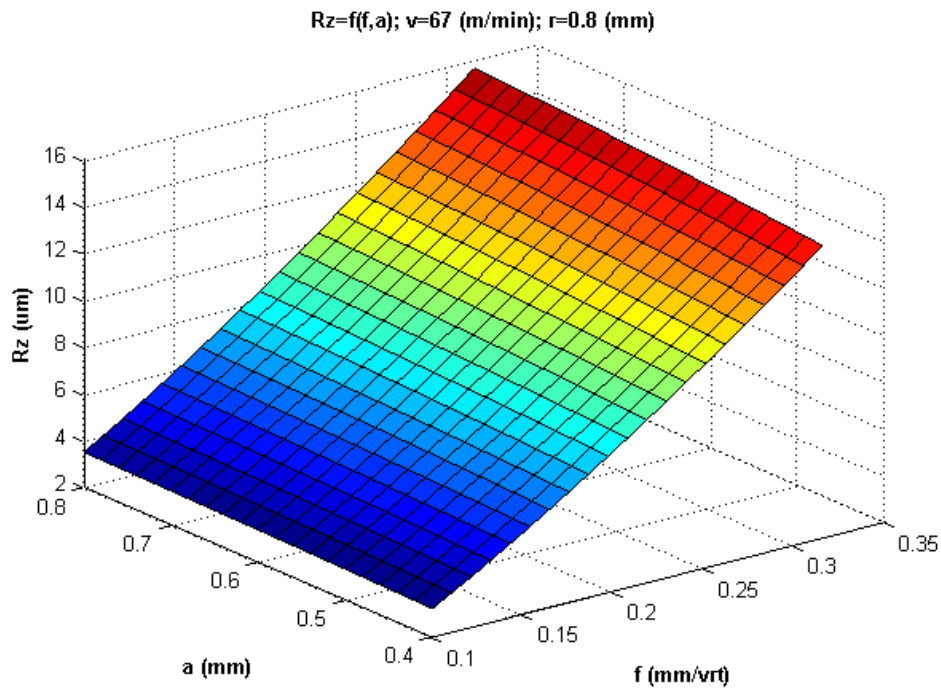
**Слика 5.3.3г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,4$  (mm) и  $f=0,1$  (mm/vrt)

Figure 5.3.3g: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$ (m/min) and tool nose radius (mm), at  $a=0,4$  (mm) and  $f=0,1$ (mm/rev)



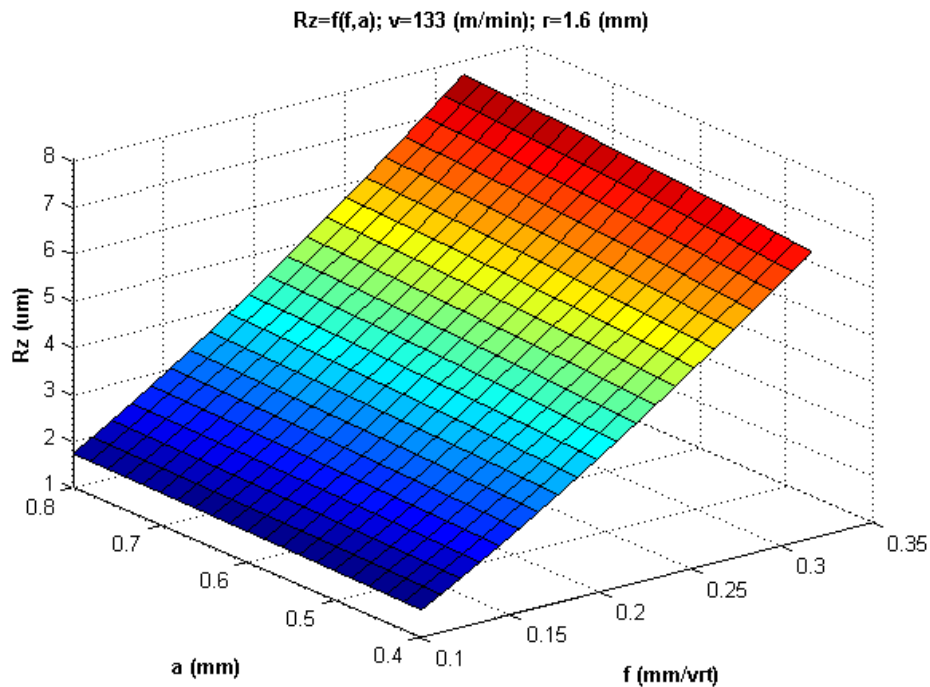
**Слика 5.3.4г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,8$  (mm) и  $f=0,315$  (mm/vrt)

Figure 5.3.4г: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and tool nose radius (mm), at  $a=0,4$  (mm) and  $f=0,315$  (mm/rev)



**Слика 5.3.5г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и длабочината на режење  $a$  ( $\text{mm}$ ), при  $v = 67 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon = 0,8 \text{ (mm)}$

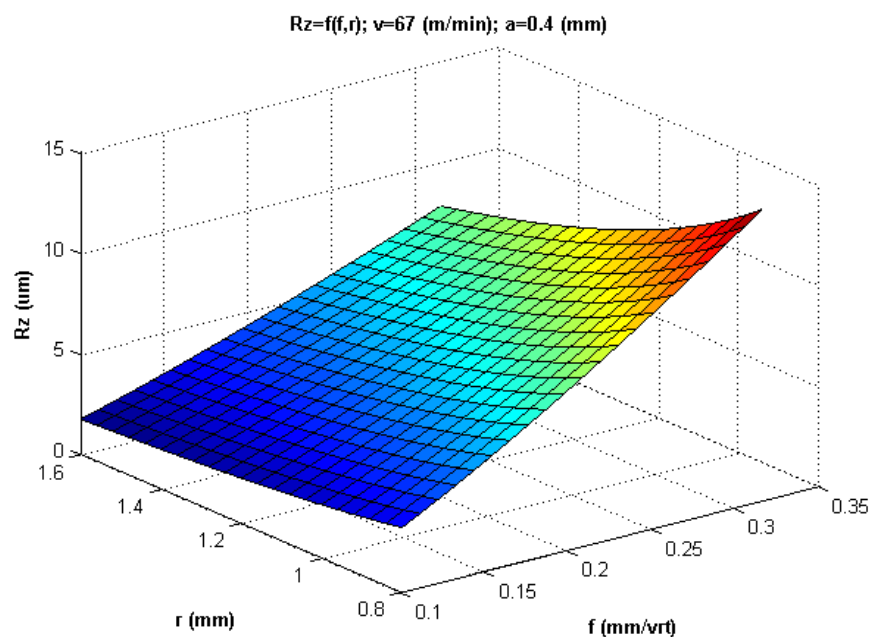
Figure 5.3.5a: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cutting depth  $a$  ( $\text{mm}$ ), at  $v = 67 \text{ (m/min)}$  and  $r_\epsilon = 0.8 \text{ (mm)}$



**Слика 5.3.6г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и длабочината на режење  $a$  ( $\text{mm}$ ), при  $v = 133 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon = 1,6 \text{ (mm)}$

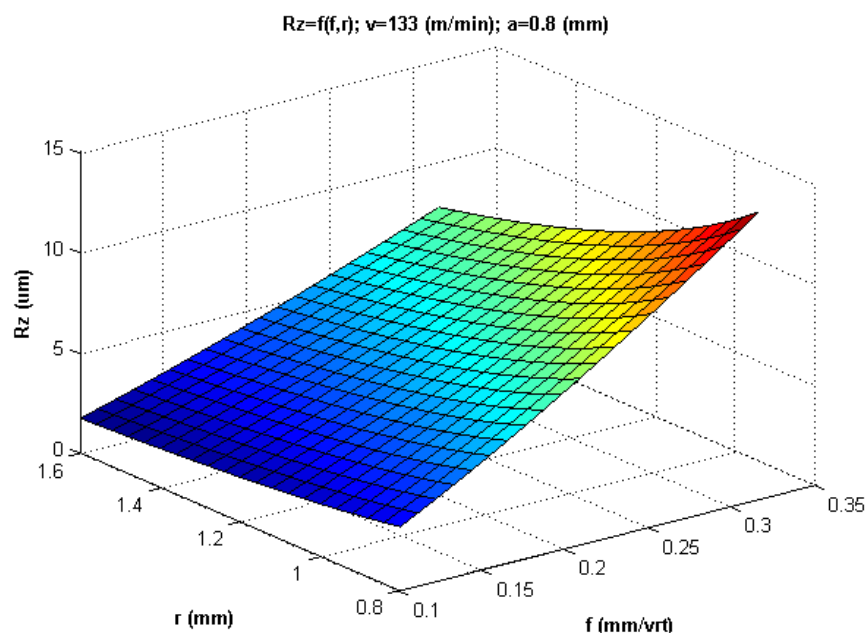
Figure 5.3.6r: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cutting depth  $a$  ( $\text{mm}$ ), at  $v = 133 \text{ (m/min)}$  and  $r_\epsilon = 1,6 \text{ (mm)}$





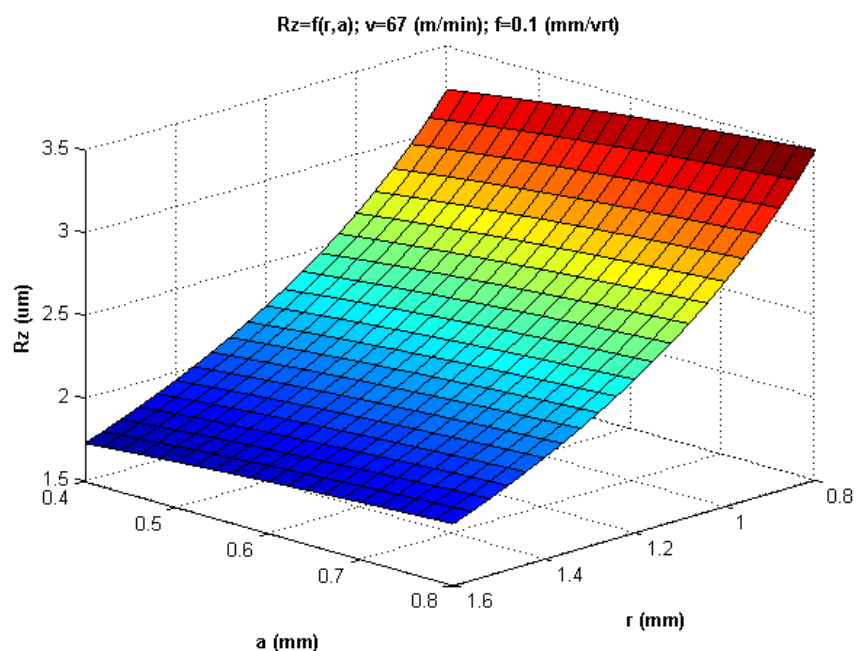
**Слика 5.3.7г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=67 \text{ (m/min)}$  и  $a=0,4 \text{ (mm)}$

Figure 5.3.7r: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in the function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/rev}$ ) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $v=67 \text{ (m/min)}$  and  $a = 0,4 \text{ (mm)}$



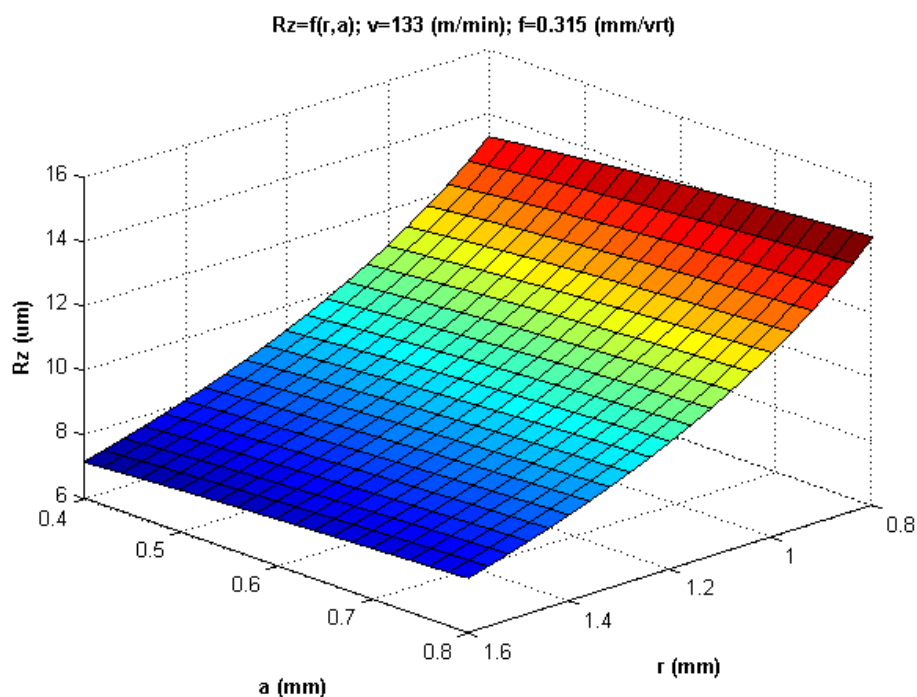
**Слика 5.3.8г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од поместот  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), при  $v=133 \text{ (m/min)}$  и  $a=0,8 \text{ (mm)}$

Figure 5.3.8a: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in the function of the feed rate  $f$  ( $\text{mm/vrt}$ ) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  ( $\text{mm}$ ), at  $v=133 \text{ (m/min)}$  and  $a = 0,6 \text{ (mm/rev)}$



**Слика 5.3.9г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v = 67 \text{ (m/min)}$  и  $f = 0,1 \text{ (mm/rev)}$

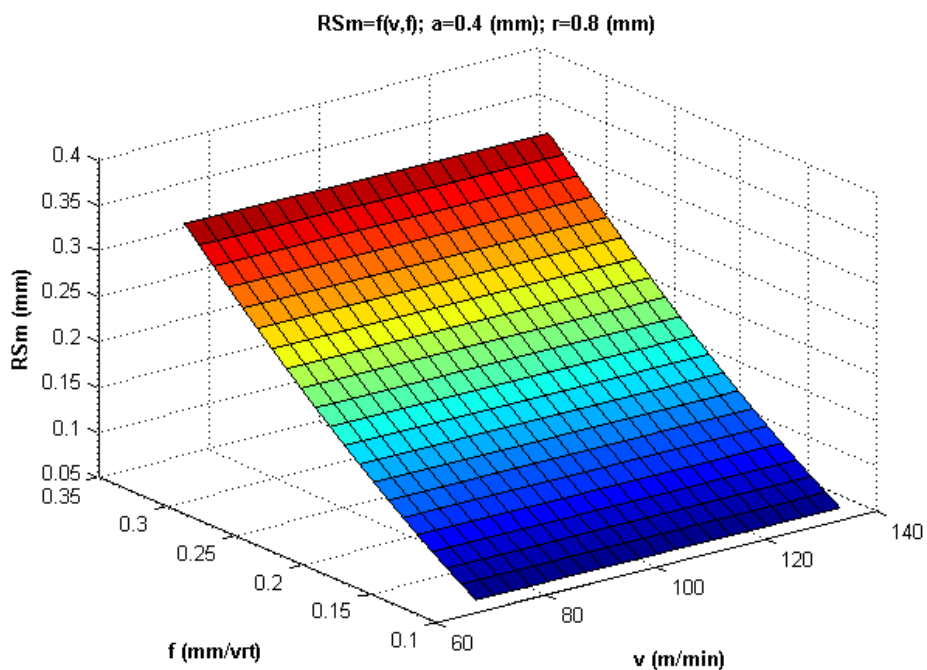
Figure 5.3.9a: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm)  $f$  (mm /vrt), at  $v = 67 \text{ (m/min)}$  and  $f = 0,1 \text{ (mm/rev)}$



**Слика 5.3.10г:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v = 133 \text{ (m/min)}$  и  $f = 0,315 \text{ (mm/vrt)}$

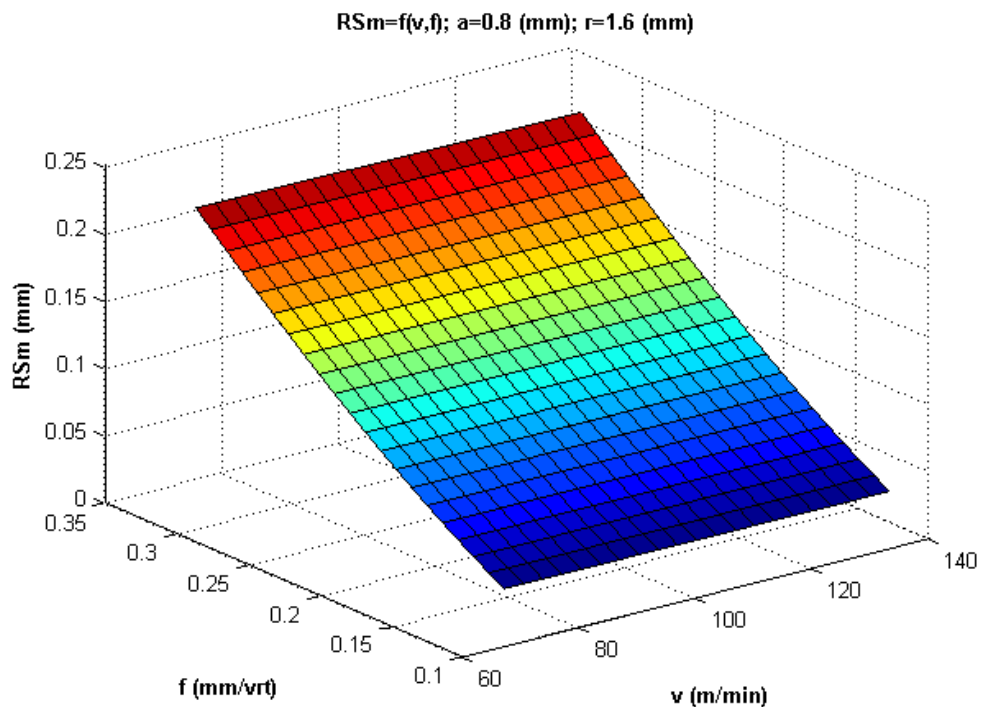
Figure 5.3.10r: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting depth and the the plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm)  $f$  (mm/vrt), at  $v = 133 \text{ (m/min)}$ ,  $f = 0,315 \text{ (mm/rev)}$





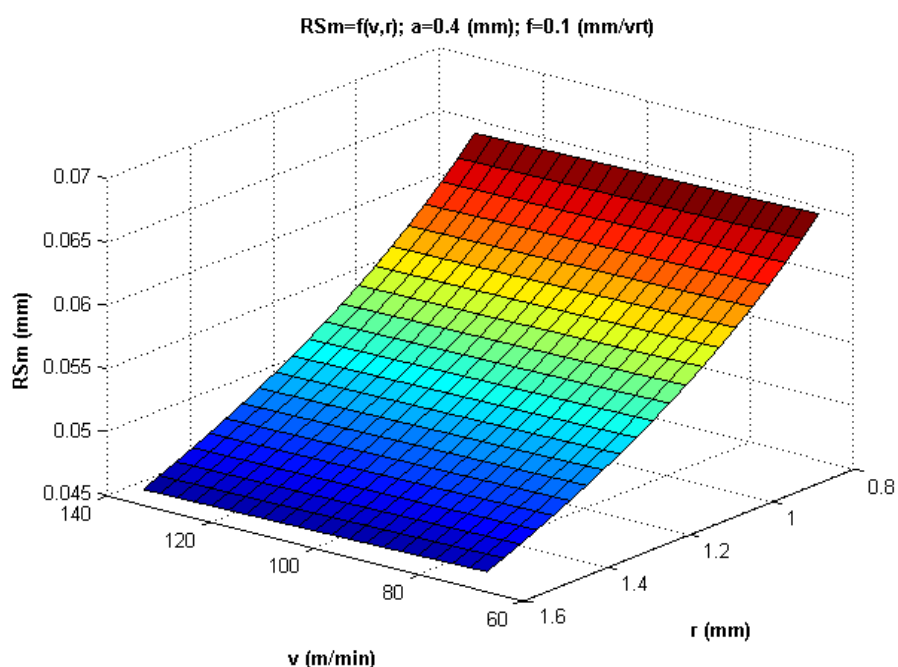
**Слика 5.2.1д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm$  ( $\mu m$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,4$  (mm) и  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)

Figure 5.3.1a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/vrt), at  $a=0,4$  (mm)  $r_{\epsilon}=0,8$  (mm)



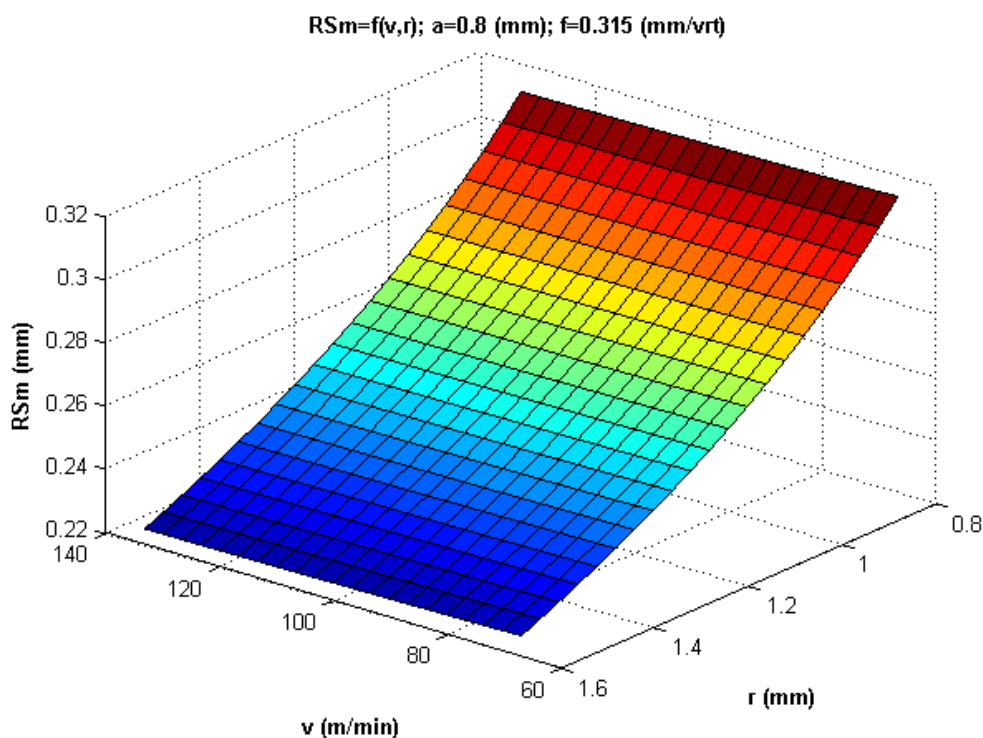
**Слика 5.3.2д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm$  (mm) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,8$  (mm) и  $r_{\epsilon}=1,6$  (mm)

Figure 5.3.1д: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and feed rate  $f$  (mm/vrt), at  $a=0,8$  (mm)  $r_{\epsilon}=1,6$  (mm)



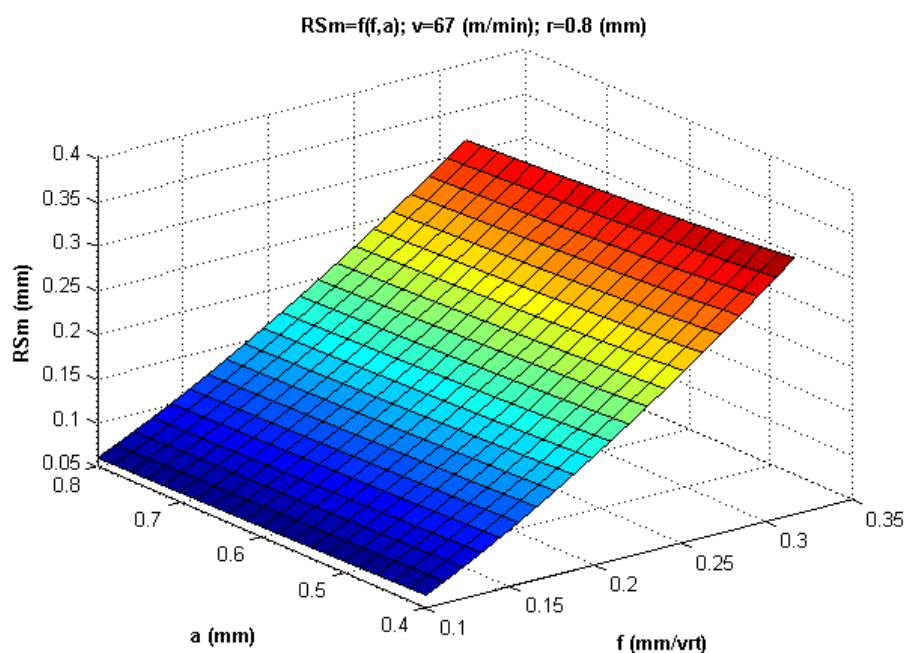
**Слика 5.3.3д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm$  ( $\mu m$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,4$  (mm) и  $f=0,1$  (mm/vrt)

Figure 5.3.3a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and tool nose radius (mm), at  $a=0,4$  (mm) and  $f=0,1$  (mm/vrt)



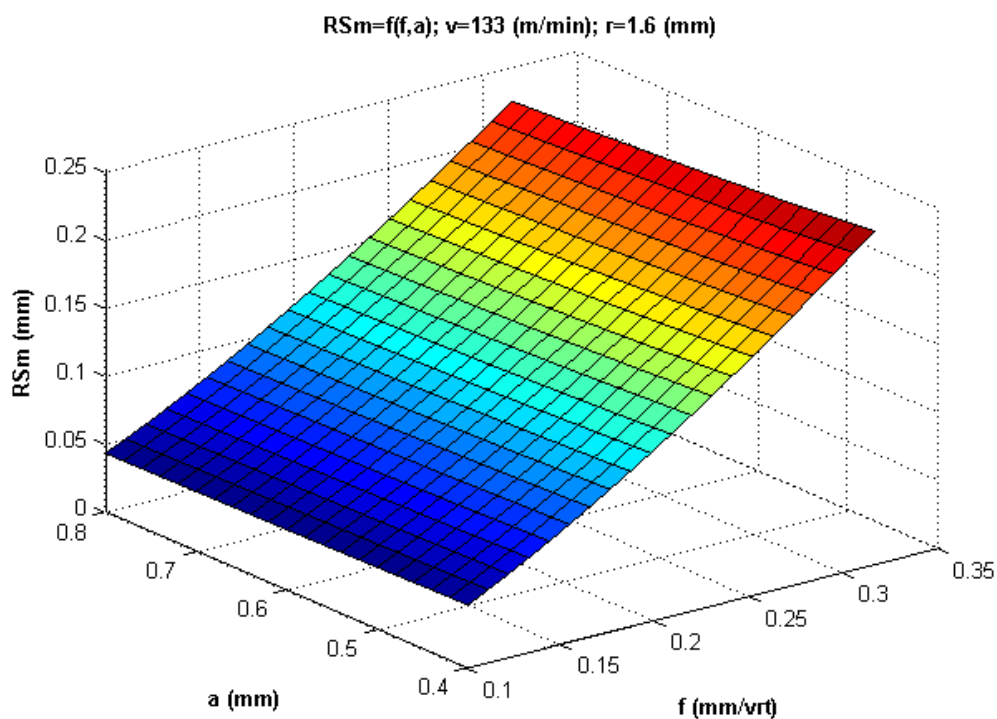
**Слика 5.3.4д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm$  ( $\mu m$ ) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,8$  (mm) и  $f=0,315$  (mm/vrt)

Figure 5.3.4d: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and tool nose radius (mm), at  $a=0,4$  (mm) and  $f=0,1$  (mm/vrt)



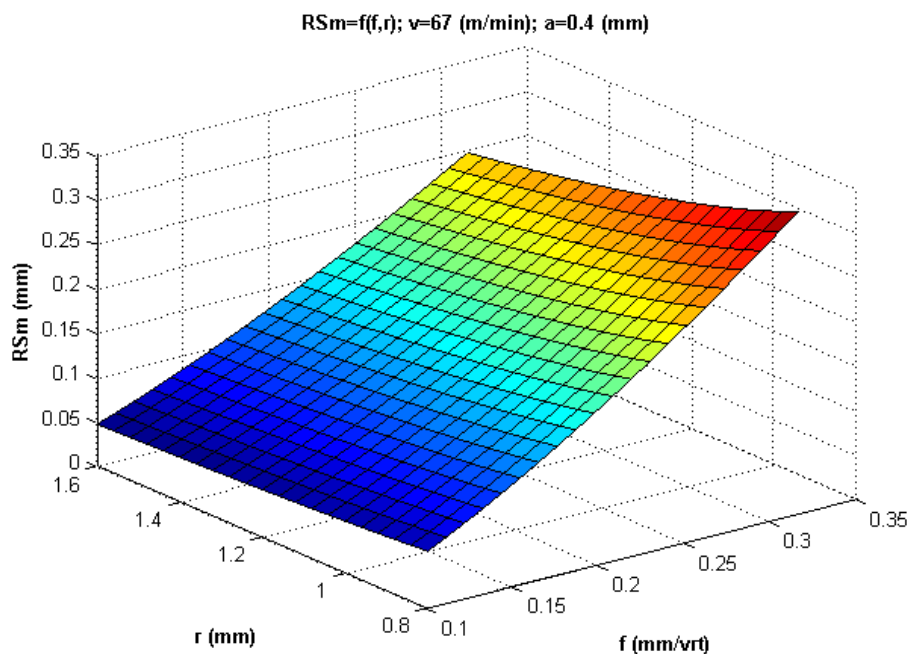
**Слика 5.3.5д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm(\mu m)$  во функција од поместот  $f \text{ (mm/vrt)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v=67 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon=0,8 \text{ (mm)}$

Figure 5.3.5g: Graphic display of the roughness parameter  $Ra \text{ (}\mu m\text{)}$  in function of the feed rate  $f \text{ (mm/vrt)}$  and the cutting depth  $a \text{ (mm)}$ , at  $v=67 \text{ (m/min)}$  and  $r_\epsilon = 0.8 \text{ (mm)}$



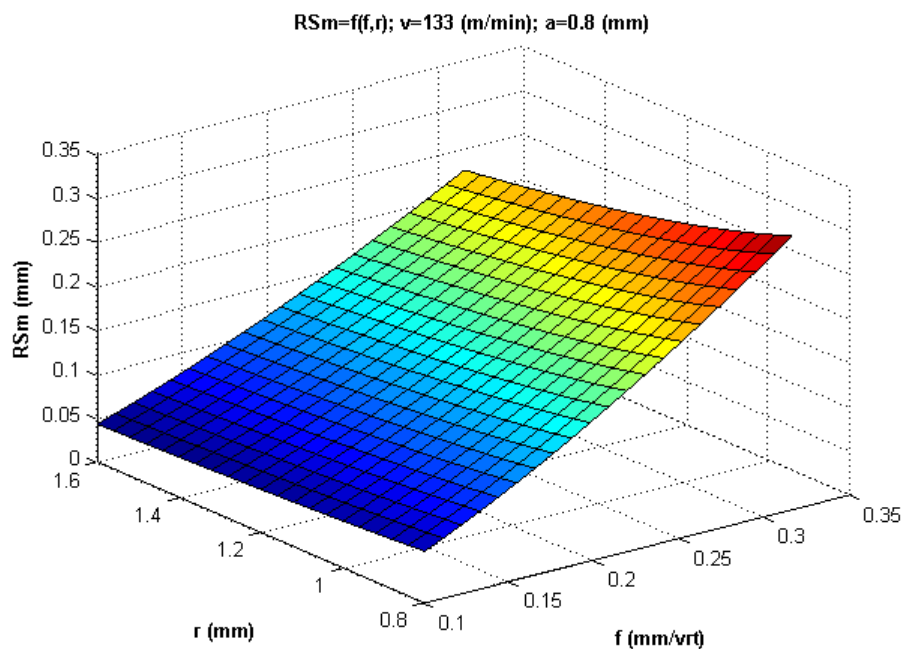
**Слика 5.3.6д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm(\mu m)$  во функција од поместот  $f \text{ (mm/vrt)}$  и длабочината на режење  $a \text{ (mm)}$ , при  $v=133 \text{ (m/min)}$  и  $r_\epsilon=1,6 \text{ (mm)}$

Figure 5.3.6d: Graphic display of the roughness parameter  $Ra \text{ (}\mu m\text{)}$  in function of the feed rate  $f \text{ (mm/vrt)}$  and the cutting depth  $a \text{ (mm)}$ , at  $v=133 \text{ (m/min)}$  and  $r_\epsilon = 1,6 \text{ (mm)}$



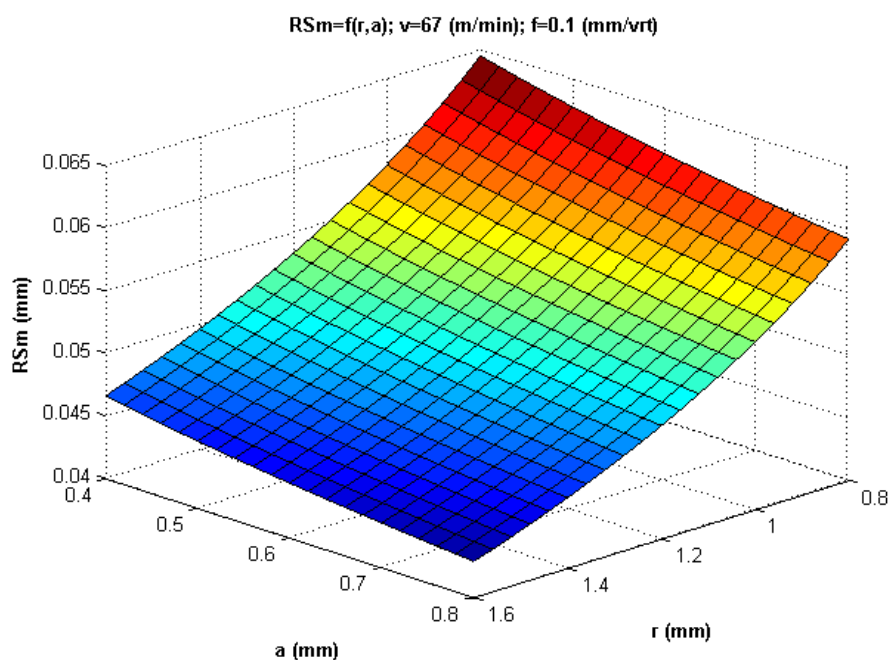
**Слика 5.3.7д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm$  ( $\mu m$ ) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $v=67$  (m/min) и  $a=0,4$  (mm)

Figure 5.3.7a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in the function of the feed rate  $f$  (mm/vrt) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm), at  $v=67$  (m/min) and  $a=0,4$  (mm)



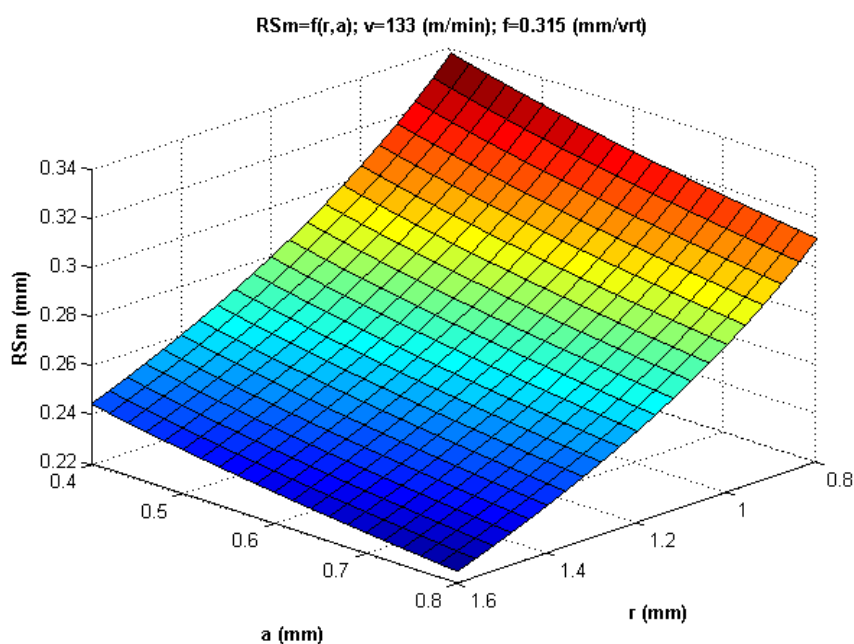
**Слика 5.3.8д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $RSm$  (mm) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $v=133$  (m/min) и  $a=0,8$  (mm)

Figure 5.3.8d: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in the function of the feed rate  $f$  (mm/vrt) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm), at  $v=133$  (m/min) and  $a=0,8$  (mm)



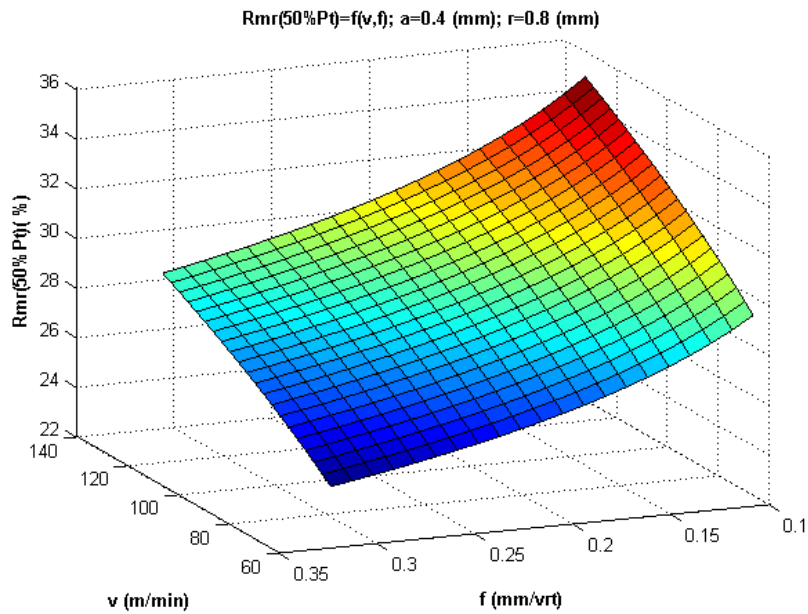
**Слика 5.3.9д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_{Sm}$  (mm) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=67$  (m/min) и  $f=0,1$  (mm/vrt)

Figure 5.3.9a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra(\mu m)$  in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm)  $f$  (mm/vrt), at  $v=67$  (m/min) and  $f=0,1$  (mm)



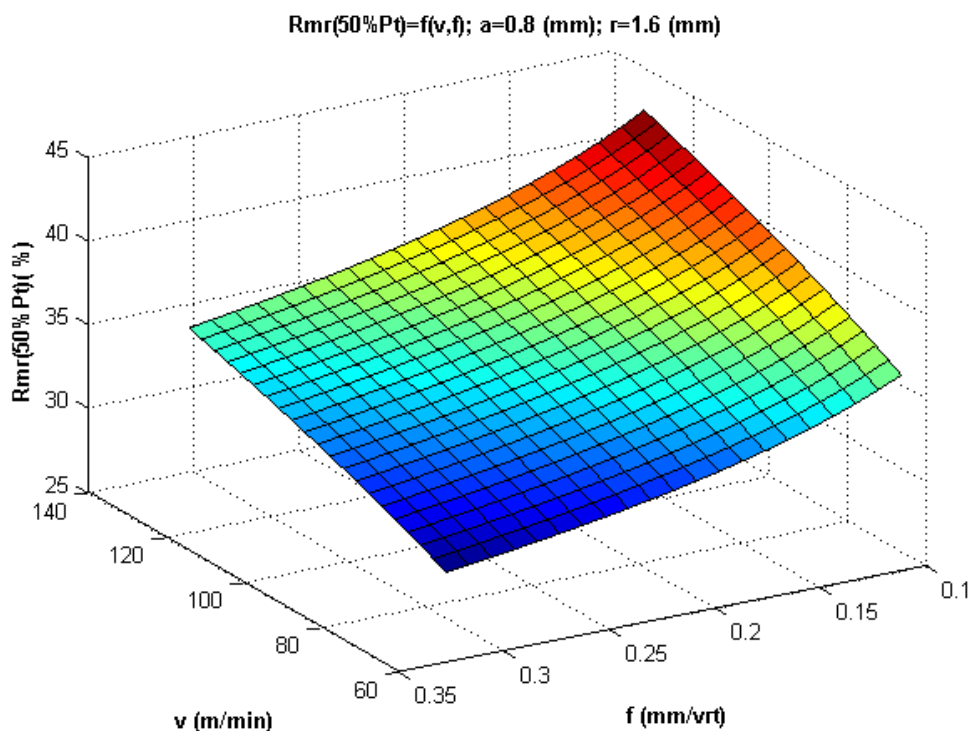
**Слика 5.3.10д:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_{Sm}$  ( $\mu m$ ) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=133$  (m/min) и  $f=0,315$  (mm/vrt)

Figure 5.3.10d: Graphic display of the roughness parameter  $Ra(\mu m)$  in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm)  $f$  (mm/vrt), at  $v=133$  (m/min) and  $f=0,315$  (mm)



**Слика 5.3.1е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Rmr(50\%Pt)$  (%) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,4$  (mm) и  $r_\epsilon=0,8$  (mm)

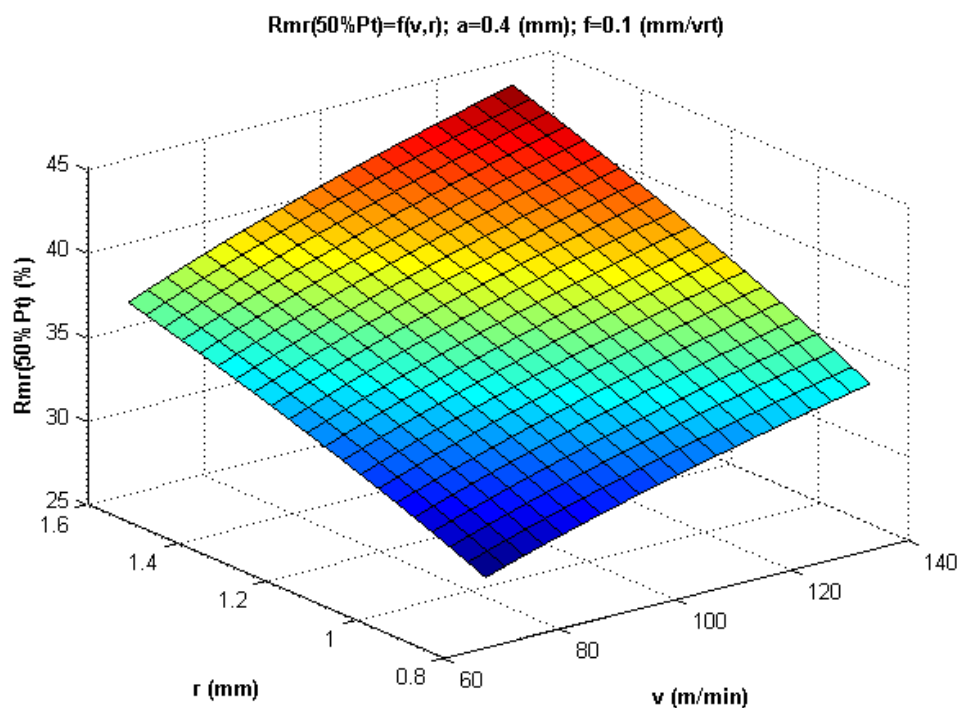
Figure 5.3.1e: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the feed rate  $f$  (mm/rev) and the cutting speed  $v$  (m/in), at  $a=0,4$  (mm) and  $r_\epsilon=0,8$  (mm)



**Слика 5.3.2е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Rmr(50\%Pt)$  (%) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и поместот  $f$  (mm/vrt), при  $a=0,8$  (mm) и  $r_\epsilon=1,6$  (mm)

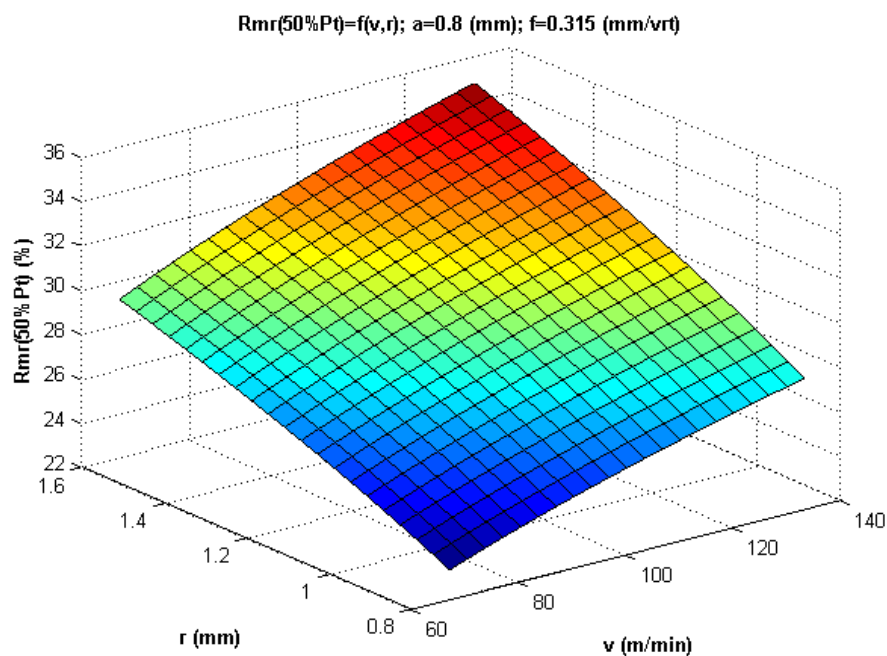
Figure 5.3.2e: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the feed rate  $f$  (mm/rev) and the cutting speed  $a$  (m/min), at  $a=0,8$  (mm) and  $r_\epsilon=1,6$  (mm)





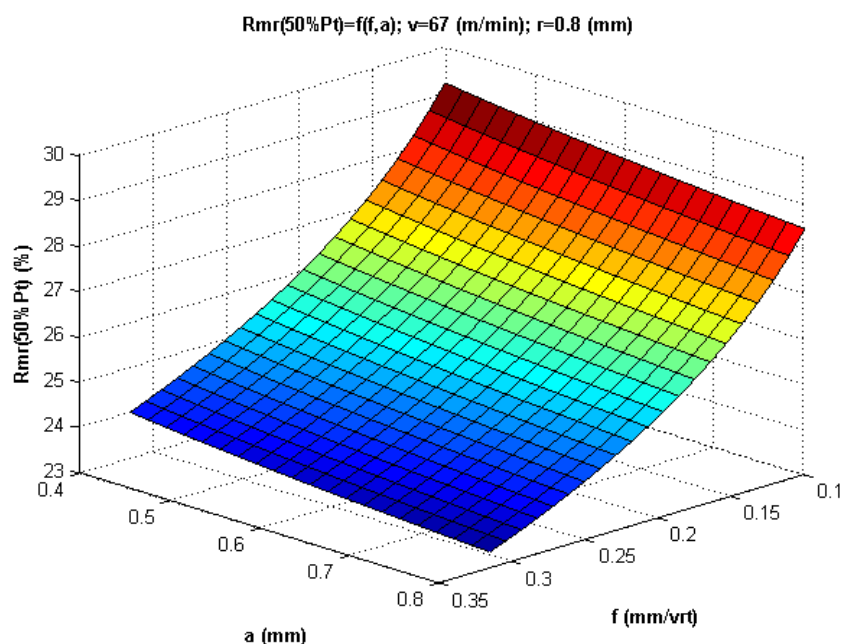
**Слика 5.3.3е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Rmr$  (50 % Pt) (%) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,4$  (mm) и  $f=0,1$  (mm/vrt)

Figure 5.3.3e: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and tool nose radius (mm), at  $a=0,4$  (mm) and  $f=0,1$ (mm/rev)



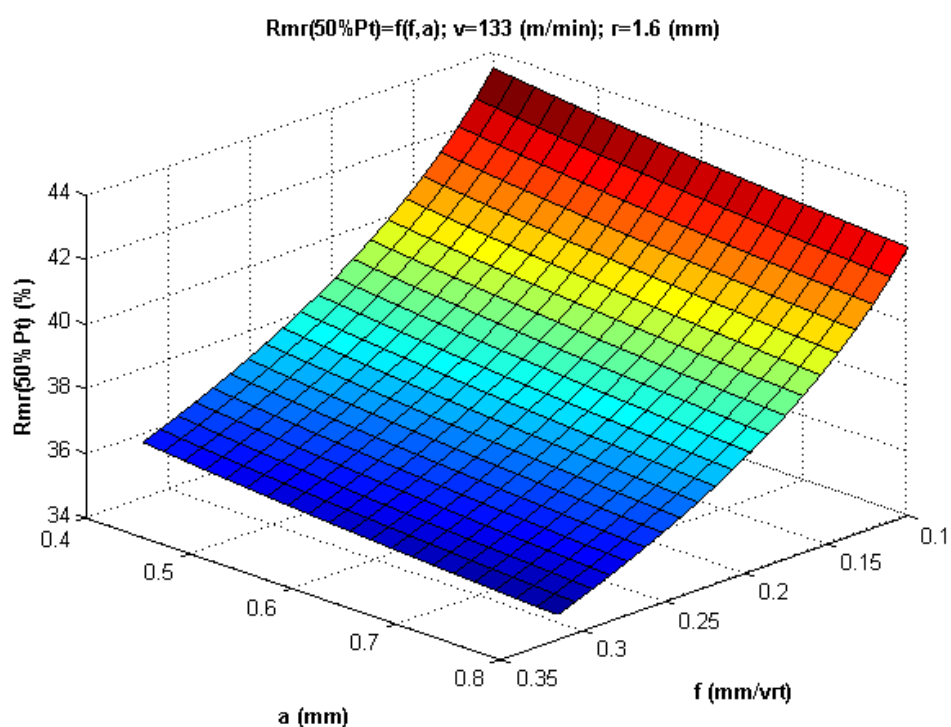
**Слика 5.3.4е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Rmr$  (50 % Pt) (%) во функција од брзината на режење  $v$  (m/min) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $a=0,8$  (mm) и  $f=0,315$  (mm/vrt)

Figure 5.3.4e: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) in function of the cutting speed  $v$  (m/min) and tool nose radius (mm), at  $a=0,8$  (mm) and  $f=0,315$  (mm/rev)



**Слика 5.3.5е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Rmr(50\%Pt)$  (%) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=67$  (m/min) и  $r_e=0,8$  (mm)

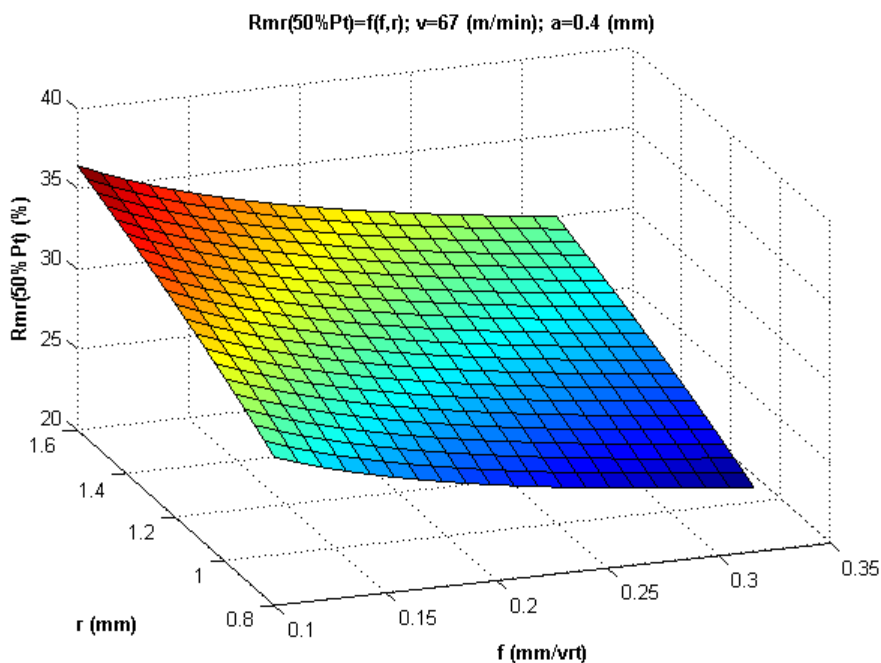
Figure 5.3.5e: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the feed rate  $f$  (mm/rev) and the cutting depth  $a$  (mm), at  $v=67$  (m/min) and  $r_e=0.8$  (mm)



**Слика 5.3.6е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $Rmr(50\%Pt)$  (%) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=133$  (m/min) и  $r_e=1,6$  (mm)

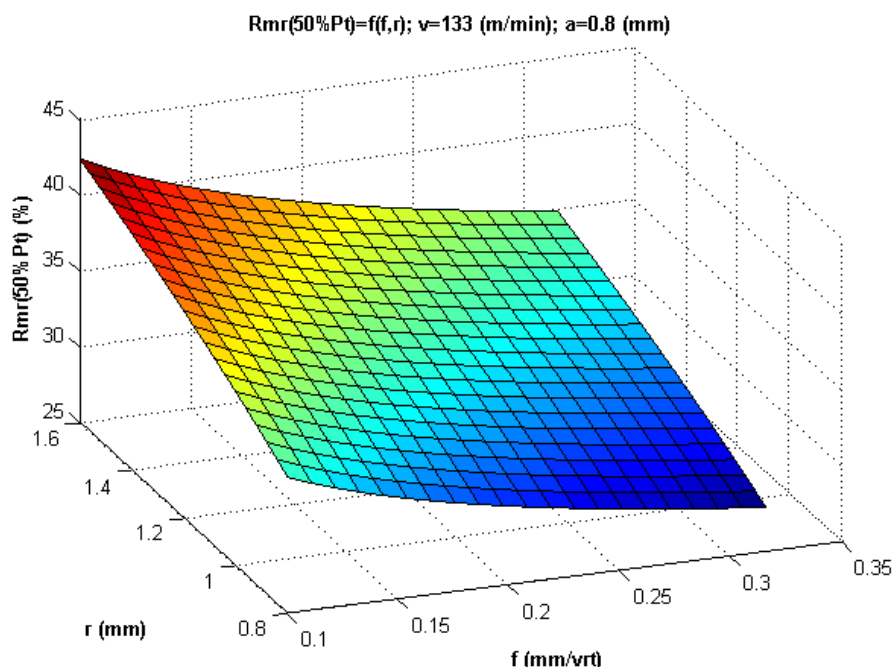
Figure 5.3.6e: Graphic display of the roughness parameter  $Ra$  ( $\mu m$ ) in function of the feed rate  $f$  (mm/rev) and the cutting depth  $a$  (mm), at  $v=133$  (m/min) and  $r_e=1.6$  (mm)





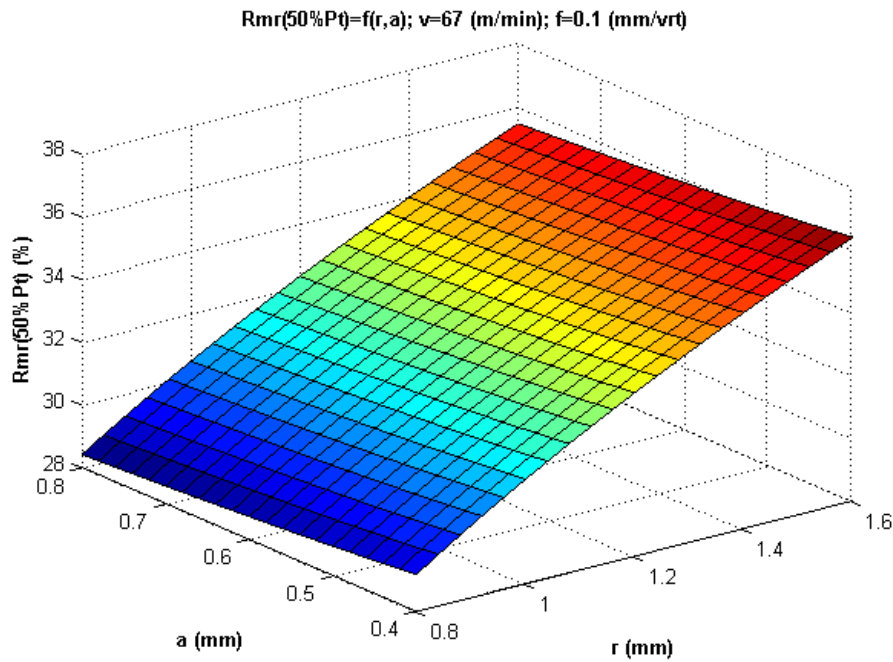
**Слика 5.3.7е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_{mr}$  (50 % Pt) (%) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $v=67$  (m/min) и  $a=0,4$  (mm)

Figure 5.3.7e: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in the function of the feed rate  $f$  (mm/rev) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm), at  $v=67$  (m/min) and  $a=0,4$  (mm)



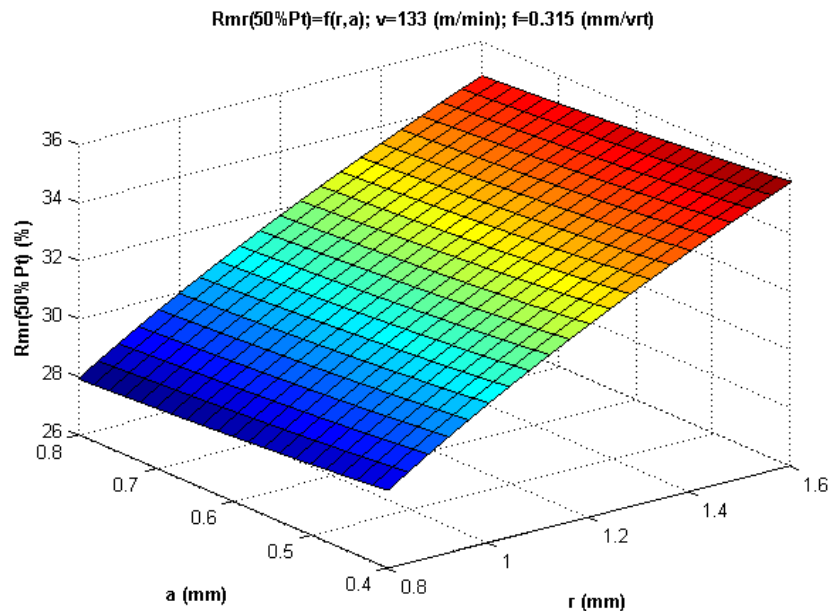
**Слика 5.3.8е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_{mr}$  (50 % Pt) (%) во функција од поместот  $f$  (mm/vrt) и радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm), при  $v=133$  (m/min) и  $a=0,8$  (mm)

Figure 5.3.8e: Graphic display of the roughness parameter  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) in the function of the feed rate  $f$  (mm/rev) and the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm), at  $v=133$  (m/min) and  $a=0,4$  (mm)



**Слика 55.3.9е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_{mr}$  (50 % Pt) (%) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=67$  (m/min) и  $f=0,1$  (mm/vrt)

Figure 5.3.9a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra(\mu m)$  in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm)  $f$  (mm/rev), at  $v=67$  (m/min) and  $f=0,1$  (mm/rev)



**Слика 5.3.10е:** Графички приказ на параметарот на рапавост  $R_{mr}$  (50 % Pt) (%) во функција од радиусот на врвот на резачката плочка  $r_\epsilon$  (mm) и длабочината на режење  $a$  (mm), при  $v=133$  (m/min) и  $f=0,315$  (mm/vrt)

Figure 5.3.10a: Graphic display of the roughness parameter  $Ra(\mu m)$  in function of the cutting depth and the the cutting plate nose radius  $r_\epsilon$  (mm)  $f$  (mm /rev), at  $v=133$  (m/min) and  $f=0,315$  (mm/rev)